

VIII. FÍSICA E CONSERVAÇÃO DO SOLO

EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E SEU REFLEXO NO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES DE PLANTAS DE SOJA⁽¹⁾

MARIA HELENA MORAES⁽²⁾, SERGIO HUGO BENEZ⁽³⁾ e PAULO LEONEL LIBARDI^(4,5)

RESUMO

Estudou-se o efeito de vários níveis de compactação na densidade do solo, porosidade total e resistência à penetração, objetivando determinar o nível que impede o desenvolvimento das raízes de plantas de soja. O trabalho foi realizado em casa de vegetação, com amostras deformadas do horizonte superficial de uma terra roxa estruturada e de um latossolo roxo, controlando os níveis de compactação e o teor de água. A influência da compactação no desenvolvimento das raízes foi avaliada um mês após a germinação. Os valores de densidade do solo, para um mesmo nível de compactação, foram maiores para a terra roxa estruturada. O teor de água ótimo para a compactação foi de 21,0% para a terra roxa estruturada e de 29,8% para o latossolo roxo. A compactação artificial do solo acarretou aumento da resistência à penetração e diminuição da porosidade total. A elevação da sua densidade de 0,90 para 1,30 kg/m³ para a terra roxa estruturada, e de 0,90 para 1,23 kg/m³ para o latossolo roxo, promoveu, respectivamente, diminuição de 39 e de 41% na massa seca das raízes. O desenvolvimento das raízes das plantas ficou impedido quando a densidade do solo atingiu valores de 1,30 e 1,23 kg/m³, respectivamente, para a terra roxa estruturada e o latossolo roxo.

Termos de indexação: compactação artificial do solo, soja, raízes.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 31 de agosto de 1994 e aceito em 9 de junho de 1995.

⁽²⁾ Departamento de Ciências do Solo, FCA/UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970 Botucatu (SP).

⁽³⁾ Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu (SP).

⁽⁴⁾ Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP e CENA/USP, Caixa Postal 9, 13418-900 Piracicaba (SP).

⁽⁵⁾ Com bolsa de pesquisa do CNPq.

ABSTRACT

EFFECTS OF SOIL COMPACTION ON SOME PHYSICAL PROPERTIES AND ON ROOT GROWTH OF SOYBEAN

The effects of an artificial soil compaction on soil density, total porosity and soil resistance to penetration were studied with the aim to determine the level that obstructs root development of soybean. The work was carried out in greenhouse, with disturbed samples of surface horizon of an Ultisol ("Terra Roxa Estruturada") and an Oxisol ("Latossolo Roxo"), and controlling the level of compaction and the soil water content. The influence of soil compaction on root growth of soybean was evaluated one month after germination. The Ultisol showed higher soil density values than the Oxisol for the same compaction level. The optimum soil water content value for compaction was 21.0% in the Ultisol and 29.8% in the Oxisol. The increase on compaction level resulted (on the both soils) in an increase of mechanical impedance of penetration and decrease of total porosity. The increase in soil density of 0.90 to 1.30 kg/m³ in the Ultisol, and 0.90 to 1.23 kg/m³ in the Oxisol reduced the development of soybean roots, respectively, in 39 and 41%. The development of the soybean roots was severely reduced for soil density values of 1.30 and 1.23 kg/m³, respectively, in the Ultisol and in the Oxisol.

Index terms: artificial soil compaction, soybean, root growth.

1. INTRODUÇÃO

A mecanização da agricultura introduziu, juntamente com seus benefícios, fatores desfavoráveis ao bom desenvolvimento das plantas, como, por exemplo, a desagregação do solo, a erosão e a compactação resultante do tráfego de tratores e da ação das máquinas e implementos agrícolas.

A compactação do solo impede o crescimento das raízes em profundidade, fazendo com que se desenvolvam superficialmente, e reduz a infiltração de água, aumentando, conseqüentemente, a erosão. A redução do volume de solo explorado pelas raízes eleva os riscos de deficiências hídrica e nutricional das plantas.

Saini & Chow (1984) enfatizaram que a compactação resulta em aumento da densidade do solo, sendo esta função do teor de água e da força utilizada na compactação (Soane, 1970). Segundo esses autores, o teor de matéria orgânica e o conteúdo de argila são fatores do solo que determinam os índices de compactação; o tipo de mineral de argila também exerce influência no processo.

Além do aumento na densidade, a compactação interfere na porosidade e no desenvolvimento das

raízes, diminuindo-os (Gill, 1961; Meredith & Patrick Junior, 1961; Harris, 1971; Cannell, 1977; O'Neil & Carrow, 1983; Agnew & Carrow, 1985; Martin et al., 1985). A elevação da resistência do solo à penetração foi citada, entre outros, por Chancellor (1971), Warkentin (1971), Janssen & Van Der Weert (1977) e Hewitt & Dexter (1979).

O efeito da compactação no desenvolvimento das raízes tem sido estudado por vários autores. Phillips & Kirkham (1962) verificaram que o crescimento das raízes de plântulas de milho diminuiu linearmente quando a densidade do solo aumentou de 0,94 para 1,30 kg/m³. Tackett & Pearson (1964) consideraram valores em torno de 1,5 kg/m³ como críticos para o desenvolvimento de raízes de algodão em um solo franco-arenoso. Grohmann & Queiroz Neto (1966) observaram que não houve desenvolvimento de raízes de arroz quando a densidade do solo era 1,42 e 1,38 kg/m³, respectivamente, para um latossolo roxo e um podzólico vermelho-amarelo. Sharma & Singh (1969) encontraram valores de 1,8 kg/m³ como impedimento máximo para o milho em um solo de textura franco-arenosa. Borges et al. (1988), avaliando a resposta de cultivares de soja em um latossolo vermelho-escuro, verificaram que não houve desen-

volvimento das raízes para valores de densidade do solo de $1,35 \text{ kg/m}^3$. Wilhelm & Mielke (1988), trabalhando com um solo franco-siltoso, notaram que a massa e o comprimento das raízes de plantas de trigo tenderam a diminuir quando o solo estava compactado, uniformemente ou em camadas, com valores de densidade de $1,80 \text{ kg/m}^3$. Dannowski (1992) avaliou a habilidade de crescimento das raízes de vários cultivares de arroz e triticale em um solo de textura areia franca, observando que as de arroz mostraram pequena diminuição no desenvolvimento em densidade do solo de $1,65 \text{ kg/m}^3$, enquanto as de triticale não apresentaram crescimento quando a densidade do solo foi de $1,80 \text{ kg/m}^3$.

Esta pesquisa visou ao estudo dos efeitos da compactação artificial em algumas propriedades físicas de duas classes de solo provenientes de mesmo material de origem, mas com distinto comportamento físico-químico, e ao desenvolvimento das raízes de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), controlando os níveis de compactação e o teor de água do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho se baseou em duas classes de solo de expressão geográfica na Fazenda Experimental Lageado - UNESP - Câmpus de Botucatu (SP).

Carvalho et al. (1983) classificaram os solos nas Séries Lageado e Túnel, pertencentes às classes: terra roxa estruturada (TR) e latossolo roxo (LR) respectivamente.

A área de ocorrência da terra roxa estruturada tem sido intensivamente explorada, nos últimos anos, sobretudo com café e, mais recentemente, com milho, e a do latossolo roxo, com reflorestamento por eucalipto.

No quadro 1, descrevem-se as principais propriedades físico-químicas do horizonte superficial dos dois solos (Embrapa, 1979).

As amostras de solo com estrutura deformada, coletadas entre 0 e 20 cm de profundidade, foram secas ao ar e, posteriormente, tamisadas a 4,76 mm,

obtendo-se a fração na qual se efetuou o ensaio de compactação.

Quadro 1. Principais características do horizonte superficial dos solos empregados na pesquisa

Características	Terra roxa estruturada	Latossolo roxo
Físicas		
Areia (%)	10	20
Silte (%)	15	13
Argila (%)	75	67
Argila dispersa em água (%)	11	9
Classe textural (SBCS)	MA ⁽¹⁾	MA ⁽¹⁾
Densidade de partículas (kg/m^3)	2,96	2,93
Químicas		
pH em água (1:2,5)	4,8	5,0
Carbono orgânico (g/dm^3)	12,0	19,9
H ⁺ (mmolc/kg)	55,0	65,0
Al ³⁺ (mmolc/kg)	10,0	0,0
P (mg/kg)	5,0	2,0
K ⁺ (mmolc/kg)	1,9	1,7
Ca ²⁺ (mmolc/kg)	35,0	38,0
Mg ²⁺ (mmolc/kg)	8,0	16,0
S (mmolc/kg)	47,0	58,0
CTC (mmolc/kg)	112,0	123,0
V (%)	42,0	47,0

(¹) MA: muito argilosa.

As colunas de solo constituíram-se de oito anéis cilíndricos de PVC, em superposição, com 99,0 mm de diâmetro, 35,0 mm de altura e $269,43 \text{ cm}^3$ de volume cada um.

As colunas foram colocadas no interior de prototores de concreto, para reduzir os efeitos da temperatura e aumentar a resistência mecânica.

O delineamento estatístico constou de três tratamentos e cinco repetições para os dois solos, conforme se segue:

Tratamento 1: oito anéis superpostos, sem compactação ($\rho = 0,90 \text{ kg/m}^3$);

Tratamento 2: oito anéis superpostos com nível de compactação aumentando de $0,90$ a $1,30 \text{ kg/m}^3$ para a TR, e de $0,90$ a $1,23 \text{ kg/m}^3$ para o LR (um a sete golpes);

Tratamento 3: oito anéis superpostos com nível de compactação aumentando de $1,30$ a $1,37 \text{ kg/m}^3$ para a TR, e de $1,24$ a $1,31 \text{ kg/m}^3$ para o LR (oito a catorze golpes).

As curvas de compactação do solo em função do teor de água foram obtidas pelo ensaio de Proctor Normal (ABNT, 1982) - Figura 1.

Realizou-se a compactação artificial do solo por meio de um aparelho compactador, semelhante ao descrito por Grohmann & Queiroz Neto (1966). Umedeceram-se as amostras até os teores ótimos de água, determinados pelo ensaio de Proctor Normal, acondicionando-as, a seguir, em recipientes fechados, para homogeneização e manutenção do teor de água, das quais foram obtidas subamostras para preenchimento dos anéis.

Para efetuar a compactação das amostras nos anéis, colocou-se a base do cilindro compactador sobre elas, cuidando-se para mantê-lo em posição vertical. Em seguida, deixou-se cair, de uma altura

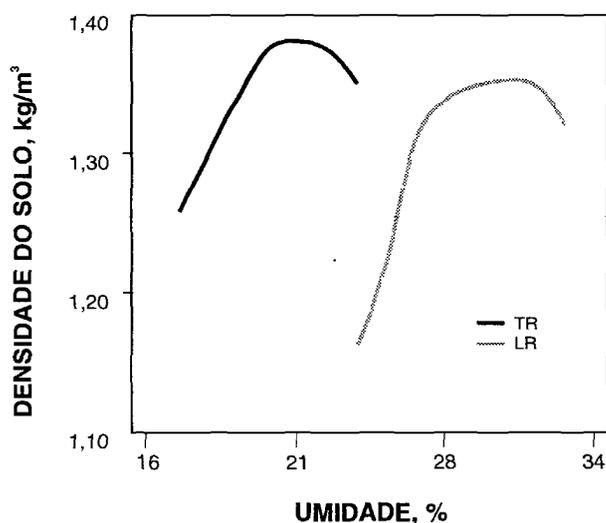


Figura 1. Curvas de compactação da terra roxa estruturada e do latossolo roxo.

de $0,30 \text{ m}$, uma carga de 2 kg , variando a intensidade de compactação das amostras pelo número de golpes.

Os anéis, assim compactados, foram unidos com fita veda-rosca e fita crepe. No anel superior, sempre preenchido com solo sem compactação, efetuou-se a semeadura da soja. Para estudo comparativo, utilizaram-se colunas com solo descompactado.

Para a determinação da densidade do solo, coletaram-se duas amostras após a primeira compactação de cada anel, colocando-as em estufa a $105-110^\circ\text{C}$ até a obtenção de massa constante.

Com os dados de massa de sólidos do solo (M) e volume total da amostra (V), calculou-se a densidade do solo (ρ) a partir da fórmula: $\rho = M/V$.

Determinou-se a densidade de partículas (ρ_p) pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1979).

Obtidos os valores da densidade do solo (ρ) e da de partículas (ρ_p), calcularam-se os da porosidade total (n) por meio da equação: $n = (\rho_p - \rho) / (\rho_p) \cdot 100$.

Mediu-se a resistência do solo à penetração após a primeira compactação de cada anel, com umidade de $21,0\%$ para a TR e de $29,8\%$ para o LR, com um penetrômetro de bolso, modelo CL-700, da Soil-Test, efetuando de cinco a sete leituras para cada amostra.

Colocaram-se as colunas de solo dentro de uma bandeja sobre uma camada de areia fina, umedecendo-as, diariamente, para evitar tanto o ressecamento superficial como a saturação do solo. Adicionava-se água também sobre a camada de areia, que a transmitia, por capilaridade, à parte inferior das colunas de solo.

Nessas condições, distribuíram-se três sementes de soja da variedade IAC-5 por coluna e, dez dias após a germinação, desbastou-se, mantendo apenas uma planta por coluna.

Um mês depois da germinação, seccionaram-se as plantas, deixando-as rente ao solo; retiraram-se as colunas dos protetores de concreto, examinando

do-se as raízes para verificar algum impedimento físico em relação ao seu crescimento e desenvolvimento. Os anéis que constituíam as colunas foram separados com lâmina cortante, extraindo-se as raízes do solo por lavagem em água corrente e, em seguida, em água destilada. As raízes, assim obtidas, foram secas em estufa a 70°C, durante 48 horas, e pesadas, determinando-se sua massa seca.

Efetuar-se as análises estatísticas segundo Pimentel Gomes (1982), aplicando o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos, para um mesmo solo e entre os dois solos estudados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elevação do nível de compactação aumentou a densidade do solo de 0,90 para 1,37 kg/m³ na terra roxa estruturada e de 0,90 para 1,31 kg/m³ no latossolo roxo (Quadro 2). Analisando a variação de densidade para o tratamento 2, todos os níveis diferiram significativamente entre si para a terra roxa estruturada, enquanto, para o latossolo roxo, os níveis 0, 1, 2, 3 e 4 não diferiram entre si, somente dos demais. No tratamento 3, apenas o nível 0 (sem compactação) diferiu dos outros, para ambos os solos.

Quadro 2. Densidade do solo (kg/m³) em função dos níveis de compactação para terra roxa estruturada (TR) e latossolo roxo (LR)

Nível de compactação	Profundidade	Densidade do solo	
		TR	LR
		kg/m ³	
Tratamento 1			
0	0-28,0	0,90 a	0,90 a
Tratamento 2			
0	0-3,5	0,90Ha	0,90Da
1	3,5-7,0	0,98Ga	0,97Da
2	7,0-10,5	1,08Fa	1,05Da
3	10,5-14,0	1,17Ea	1,11Db
4	14,0-17,5	1,22Da	1,14Db
5	17,5-21,0	1,26Ca	1,17Cb
6	21,0-24,5	1,29Ba	1,21Bb
7	24,5-28,0	1,30Aa	1,23Ab
Tratamento 3			
0	0-3,5	0,90Ba	0,90Ba
8	3,5-7,0	1,30Aa	1,24Ab
9	7,0-10,5	1,31Aa	1,25Ab
10	10,5-14,0	1,33Aa	1,26Ab
11	14,0-17,5	1,34Aa	1,27Ab
12	17,5-21,0	1,35Aa	1,28Ab
13	21,0-24,5	1,36Aa	1,29Ab
14	24,5-28,0	1,37Aa	1,31Ab

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Letras maiúsculas comparam médias em cada solo. Letras minúsculas, entre solos.

Comparando-os, em um mesmo nível de compactação, verificou-se que, a partir do terceiro nível, $\rho = 1,17 \text{ kg/m}^3$ para a terra roxa estruturada e $1,11 \text{ kg/m}^3$ para o latossolo roxo, os solos mostraram comportamento diverso, resultando em diferença estatística significativa.

É possível que a menor compactação do latossolo roxo tenha decorrido de seu menor teor de argila e maior de matéria orgânica do que a terra roxa estruturada. O menor conteúdo de argila resulta em nível mais baixo de compactação, assim como o valor mais elevado de matéria orgânica, que confere aos agregados maior estabilidade e promove

maior absorção de água, diminuindo a espessura das suas películas em torno das partículas do solo, o que resulta em maior resistência à compactação (Soane, 1970, e Saini & Chow, 1984).

Outro fator que pode ter influenciado no diferente comportamento dos solos é a mineralogia da fração argila. Souza (1973) encontrou, para a terra roxa estruturada, em amostras isentas de ferro livre, valores médios de 70% para a caulinita e 17% para a gibbsita; para o latossolo roxo, Soares (1978) quantificou em 66% o teor de caulinita e em 22% o de gibbsita. Como a terra roxa estruturada possui um teor maior de caulinita, mineral cuja micro-

Quadro 3. Porosidade total (%) em função dos níveis de compactação e profundidade, para a terra roxa estruturada (TR) e o latossolo roxo (LR)

Nível de compactação	Profundidade	Porosidade total	
		TR	LR
		%	
Tratamento 1			
0	0-28,0	69,60a	69,35a
Tratamento 2			
0	0-3,5	69,60Aa	69,35Aa
1	3,5-7,0	67,03Ba	66,96Ba
2	7,0-10,5	63,58Ca	64,29Ca
3	10,5-14,0	60,54Da	62,18Db
4	14,0-17,5	58,72Ea	61,02Eb
5	17,5-21,0	57,43Ea	60,14Fb
6	21,0-24,5	56,28Ea	58,56Gb
7	24,5-28,0	56,08Ea	58,16Hb
Tratamento 3			
0	0-3,5	69,90Aa	69,35Aa
8	3,5-7,0	56,08Ba	57,75Bb
9	7,0-10,5	55,61Ba	57,20Bb
10	10,5-14,0	55,07Ba	57,13Bb
11	14,0-17,5	54,59Ba	56,52Bb
12	17,5-21,0	54,33Ba	56,45Bb
13	21,0-24,5	54,06Ba	56,11Bb
14	24,5-28,0	53,86Ba	55,36Bb

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Letras maiúsculas comparam médias em cada solo e minúsculas, médias entre solos.

estrutura é laminar, o teor de água, juntamente com um esforço uniforme de compactação, resulta em um arranjo orientado das unidades estruturais, determinando massa mais densa. Por outro lado, o latossolo roxo possui maior proporção de gibbsita, que, por apresentar estrutura amorfa, impede a aproximação uniforme das partículas, resultando em menor compactação.

Quanto à porosidade total, os resultados para os dois solos evidenciaram decréscimo com a elevação do nível de compactação - Quadro 3.

Para a terra roxa estruturada, a porosidade total diminuiu de 67,03 para 53,86%, do menor para o maior nível de compactação nos tratamentos 2 e

3; no latossolo roxo, houve diminuição de 66,96 para 55,36%.

No tratamento 2, todos os níveis de compactação mostraram diferença estatística significativa para o latossolo roxo, enquanto, para a terra roxa estruturada, os níveis 4, 5, 6 e 7 não diferiram entre si, mas em relação aos demais. No tratamento 3, para os dois solos, encontraram-se diferenças significativas entre o nível sem compactação e os outros.

A maior compactação para a terra roxa estruturada pode também ser observada nos valores de porosidade total, ou seja, tal solo mostrou redução de 23% no espaço poroso, enquanto, no latossolo roxo, a diminuição foi de 20%.

Quadro 4. Resistência do solo à penetração (MPa) em função dos níveis de compactação e profundidade, para a terra roxa estruturada (TR) e o latossolo roxo (LR)

Nível de compactação	Profundidade	Resistência do solo	
		TR	LR
cm		MPa	
Tratamento 1			
0	0-28,0	0	0
Tratamento 2			
0	0-3,5	0	0
1	3,5-7,0	0,08Da	0,08Fa
2	7,0-10,5	0,16Ca	0,12Eb
3	10,5-14,0	0,20Ba	0,19Db
4	14,0-17,5	0,25Aa	0,23Cb
5	17,5-21,0	0,28Aa	0,27Ba
6	21,0-24,5	0,30Aa	0,30Aa
7	24,5-28,0	0,31Aa	0,31Aa
Tratamento 3			
0	0-3,5	0	0
1	3,5-7,0	0,32Aa	0,31Aa
2	7,0-10,5	0,32Aa	0,32Aa
3	10,5-14,0	0,33Aa	0,33Aa
4	14,0-17,5	0,34Aa	0,34Aa
5	17,5-21,0	0,34Aa	0,34Aa
6	21,0-24,5	0,35Aa	0,35Aa
7	24,5-28,0	0,35Aa	0,36Aa

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Letras maiúsculas comparam médias em cada solo e letras minúsculas, médias entre solos.

Pode-se atribuir o comportamento distinto dos solos à porcentagem de argila dispersa em água: de 11% para a terra roxa estruturada e de 9% para o latossolo roxo. Esse fator pode ter contribuído para maior suscetibilidade à compactação artificial na terra roxa estruturada.

Analisando os resultados de resistência do solo à penetração (Quadro 4), constata-se que o aumento do nível de compactação induziu o aumento nos valores de resistência à penetração nos dois solos.

Para a terra roxa estruturada, houve variação de 0,08 a 0,35 MPa e, para o latossolo roxo, de 0,08 a 0,36 MPa, respectivamente, para o menor e para o maior nível de compactação. Tais resultados permitem afirmar que, com a compactação, as partículas e os agregados do solo aproximaram-se, reduzindo, conseqüentemente, a porosidade e aumentando a resistência mecânica à penetração. Observações semelhantes foram feitas por Chancellor (1971), Janssen & Van Der Weert (1977) e Hewitt & Dexter (1979).

Quadro 5. Massa seca das raízes (g) em função dos níveis de compactação e profundidade, para a terra roxa estruturada (TR) e o latossolo roxo (LR)

Nível de compactação	Profundidade	Resistência do solo	
		TR	LR
	cm	g	
		Tratamento 1	
0	0-3,5	0,1228Aa	0,0784Ab
0	3,5-7,0	0,1010Aa	0,0788Aa
0	7,0-10,5	0,0924Aa	0,0592Ab
0	10,5-14,0	0,0883Aa	0,0545Ab
0	14,0-17,5	0,0814Aa	0,0594Ab
0	17,5-21,0	0,0834Aa	0,0448Ab
0	21,0-24,5	0,0883Aa	0,0574Ab
0	24,5-28,0	0,0915Aa	0,0514Ab
0	0-28,0	0,7492a	0,4840b
		Tratamento 2	
0	0-3,5	0,1460Aa	0,0876Ab
1	3,5-7,0	0,1246Aa	0,0607Bb
2	7,0-10,5	0,0605Ba	0,0471Bb
3	10,5-14,0	0,0448Ba	0,0386Ba
4	14,0-17,5	0,0335Ba	0,0247Bb
5	17,5-21,0	0,0250Ba	0,0181Bb
6	21,0-24,5	0,0224Ba	0,0082Bb
7	24,5-28,0	--	--
	0-28,0	0,4568a	0,2850b
		Tratamento 3	
0	0-3,5	0,0913a	0,0505b

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Letras maiúsculas comparam médias em cada solo e minúsculas, médias entre solos.

Para o tratamento 2, os níveis 4, 5, 6 e 7 não diferiram entre si, só em relação aos demais, na terra roxa estruturada. No latossolo roxo, somente os níveis 6 e 7 não diferiram entre si. No tratamento 3 dos dois solos, não se encontraram diferenças estatísticas significativas entre os níveis de compactação.

A terra roxa estruturada e o latossolo roxo mostraram diferença significativa quanto à resistência à penetração nos níveis 2, 3 e 4, evidenciando, nesses casos, um comportamento diferente para o mesmo nível de compactação.

Os valores médios da massa seca das raízes, nos dois solos - Quadro 5 - revelaram que, no tratamento 1, as raízes das plantas de soja se desenvolveram praticamente de maneira uniforme através das colunas, atingindo a profundidade de 0,28 m. A pequena redução na massa seca das raízes, do 1.º para o 8.º anel, é decorrente da distribuição normal do sistema radicular das plantas de soja em profundidade, não havendo diferença significativa entre os anéis. Esse tratamento, utilizado para efeito comparativo com os tratamentos 2 e 3, com níveis de compactação, apresentou maior desenvolvimento das raízes, em todos os anéis. Os valores variaram de 0,1228 a 0,0915 g para a terra roxa estruturada, e de 0,0784 a 0,0514 g para o latossolo roxo.

Nas figuras 2 e 3 podem-se observar as diferenças no desenvolvimento das raízes entre os dois solos, no tratamento 2, com níveis crescentes de compactação. Verifica-se que os valores variaram de 0,1460 a 0,0224 g para a terra roxa estruturada e de 0,0876 a 0,0082 g para o latossolo roxo.

Pelo quadro 5 nota-se que o aumento do nível de compactação do solo resultou em redução do desenvolvimento das raízes, corroborando as observações de Meredith & Patrick Junior (1961), Tackett & Pearson (1964), O'Neil & Carrow (1983), Agnew & Carrow (1985), Martin et al. (1985), Borges et al. (1988) e Dannowski (1992), sendo esta redução de 39% para a terra roxa estruturada e de 41% para o latossolo roxo.

Nota-se, ainda, que o nível 7 de compactação, situado a 24,5 cm da superfície da coluna, impediu o crescimento das raízes das plantas de soja, e que o limite de tolerância à compactação foi superior para a terra roxa estruturada. Nesse solo, valores de densidade de 1,30 kg/m³ não permitiram o desenvolvimento das raízes, enquanto para o latossolo roxo, valores de 1,23 kg/m³ já se mostraram limitantes. Tais resultados podem ser explicados pelo fato de, no latossolo roxo, haver maior proporção de microporos do que na terra roxa estruturada, quando os solos são submetidos à compactação,

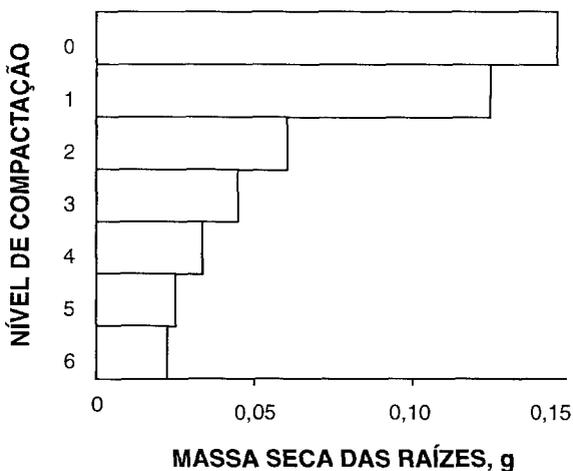


Figura 2. Massa seca das raízes (g) nos vários níveis de compactação, para a terra roxa estruturada.

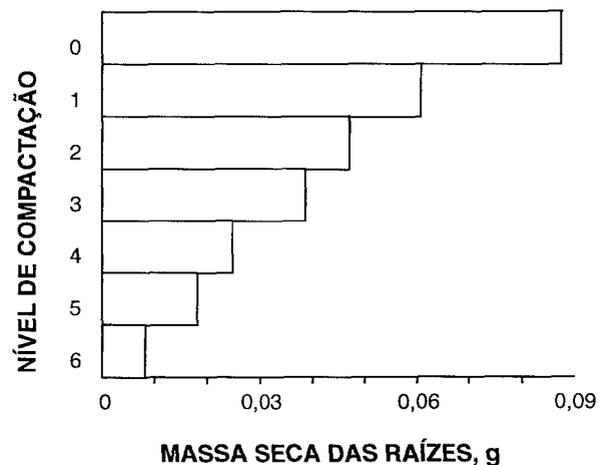


Figura 3. Massa seca das raízes (g) nos vários níveis de compactação, para o latossolo roxo.

conforme Moraes e Tamburús (1993). Esses poros acarretam aeração deficiente nas amostras compactadas, resultando em menor desenvolvimento das raízes. Alguns pesquisadores (Tackett & Pearson, 1964; Hopkins & Patrick Junior, 1969) têm demonstrado que há maior redução no crescimento das plantas quando impedimento mecânico e baixas concentrações de oxigênio coexistem.

No tratamento 3 dos dois solos, não houve crescimento das raízes das plantas, no nível 8 de compactação, situado a 3,5 cm da superfície da coluna. As raízes apresentaram desenvolvimento horizontal até atingir o ponto com menor resistência, localizado entre o anel de PVC e o solo, o que está de acordo com Taylor (1971). Nesse tratamento, cujos níveis de compactação foram os mais elevados, as amostras dos dois solos mostravam-se duras e muito resistentes à ruptura, resultando em desenvolvimento mínimo das raízes, entre o anel de PVC e o solo.

4. CONCLUSÕES

1. A terra roxa estruturada apresentou valores de densidade superiores aos do latossolo roxo, quando os solos foram submetidos a um mesmo nível de compactação.

2. A umidade ótima de compactação foi de 21% para a terra roxa estruturada e de 29,8% para o latossolo roxo.

3. A compactação artificial dos solos acarretou aumento da resistência à penetração e diminuição da porosidade total.

4. A elevação da densidade do solo de 0,90 para 1,30 kg/m³ para a terra roxa estruturada, e de 0,90 para 1,23 kg/m³ para latossolo roxo, promoveu, respectivamente, diminuição de 29 e de 41% na massa seca das raízes.

5. O desenvolvimento das raízes das plantas de soja fica impedido quando a densidade do solo atinge valores de 1,30 e 1,23 kg/m³ para a terra roxa estruturada e o latossolo roxo respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB 7182. *Solo - ensaio normal de compactação*. Rio de Janeiro, 1982. 8p.
- AGNEW, M.L. & CARROW, R.N. Soil compaction and moisture stress preconditioning in Kentucky bluegrass. I - Soil aeration, water use, and root responses. *Agronomy Journal*, Madison, **77**(6):872-878, 1985.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B. & BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. *Revista Ceres*, Viçosa, **35**(202):553-568, 1988.
- CANNELL, R.Q. Soil aeration and compaction in relation to root growth and soil management. In: COAKER, T.H., ed. *Applied Biology*. Londres, Academic Press, 1977. p.1-86.
- CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R. & PACCOLA, A.A. *Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici"*. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1983. 95p. (Boletim Científico, 1)
- CHANCELLOR, W.J. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K.K., org. *Compaction of Agricultural Soils*. St. Joseph, ASAE, 1971. p.190-212.
- DANNOWSKI, M. The penetration ability of roots of different rye and triticale genotypes in relation to soil bulk density. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Berlin, **168**(3):169-180, 1992.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- GILL, W.R. Mechanical impedance of plants by compacted soils. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, **4**(2):238-242, 1961.
- GROHMANN, F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia*, Campinas, **25**(38):421-431, 1966.
- HARRIS, W.L. The soil compaction process. In: BARNES, K.K., org. *Compaction of Agricultural Soils*. St. Joseph, ASAE, 1971. p.9-44.

- HEWITT, J.S. & DEXTER, A.R. An improved model of root growth in structured soil. *Plant and Soil*, The Hague, **52(3)**:325-343, 1979.
- HOPKINS, R.M. & PATRICK JUNIOR, W.H. Combined effect of oxygen content and soil compaction on root penetration. *Soil Science*, Baltimore, **108(6)**:408-413, 1969.
- JANSSEN, B.H. & VAN DER WEERT, R. The influence of fertilizers, soil organic matter and soil compaction on maize yields on the 'Surinam Zanderij' Soils. *Plant and Soil*, The Hague, **46(2)**:445-458, 1977.
- MARTIN, A.G.; JORDAN, T.N. & STEINHARDT, G.C. Influence of soil compaction on trifluralin phytotoxicity to corn. *Agronomy Journal*, Madison, **77(3)**:481-483, 1985.
- MEREDITH, H.L. & PATRICK JUNIOR, W.H. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. *Agronomy Journal*, Madison, **53(3)**:163-167, 1961.
- MORAES, M.H. & TAMBURÚS, C.E. Influência da compactação na densidade, porosidade, retenção de água e condutividade hidráulica de dois solos argilosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. *Anais*. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p.2234-2248.
- O'NEIL, K.J. & CARROW, R.N. Perennial ryegrass growth, water use, and soil aeration status under soil compaction. *Agronomy Journal*, Madison, **75(2)**:177-180, 1983.
- PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, **26(4)**:319-322, 1962.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 10. ed., São Paulo, Nobel, 1982. 430p.
- SAINI, G.R. & CHOW, T.L. Effect of compacted subsoil and water stress and shoot and root activity of corn (*Zea mays* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) in a growth chamber. *Plant and Soil*, The Hague, **66(3)**:291-298, 1984.
- SHARMA, R.P. & SINGH, A. Effect of berseen (*T. alexandrinum* L.) on the growth of maize crop on artificially compacted soil. *Plant and Soil*, The Hague, **31(1)**:11-21, 1969.
- SOANE, B.D. The effects of traffic and implements on soil compaction. *The Agricultural Engineer*, Beldford, **25(3)**:115-128, 1970.
- SOARES, E. *Influência do teor de potássio trocável na absorção de cálcio e magnésio pela soja* (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba, 1978. 116p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, 1978.
- SOUZA, J.L.G. *Estudo da fração argila da Terra Roxa Estruturada no Município de Botucatu (SP) para fins de gênese e classificação de solos*. Botucatu, 1973. 73p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu - UNESP, 1973.
- TACKETT, J.L. & PEARSON, R.W. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, **28(5)**:600-605, 1964.
- TAYLOR, H.M. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth, and crop yield. In: BARNES, K.K., org. *Compaction of Agricultural Soils*. St. Joseph, ASAE, 1971. p.292-305.
- WARKENTIN, B.P. Effects of compaction on content and transmission of water in soils. In: BARNES, K.K., org. *Compaction of Agricultural Soils*. St. Joseph, ASAE, 1971. p.126-153.
- WILHELM, W.W. & MIELKE, L.N. Winter wheat growth in artificially compacted soil. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, **68(3)**:527-535, 1988.