

Influência da compactação do solo no crescimento radicular e na produtividade do amendoim¹

Influence of soil compaction on productivity and root growth of peanut

Cristian Luarte LEONEL², Onã da Silva FREDDI³, Amauri Nelson BEUTLER⁴, Maria Aparecida Pessoa da Cruz CENTURION⁵, José Frederico CENTURION⁶

¹ Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor. Projeto financiado pelo CNPq.

² Aluno Mestrando - Departamento de Produção Vegetal - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP - Brasil. E-mail: crleonel@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

³ Aluno Doutorado - Departamento de Produção Vegetal – Universidade Estadual Paulista - UNESP – Câmpus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP - Brasil.

⁴ Aluno Pós-Doutorado - Departamento de Solos e Adubos - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP - Brasil.

⁵ Profa. Doutora - Departamento de Produção Vegetal – Universidade Estadual Paulista - UNESP – Câmpus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP – Brasil.

⁶ Prof. Doutor - Departamento de Solos e Adubos - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP - Brasil.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da compactação do solo sobre os atributos físicos de um Latossolo Vermelho e associá-los ao crescimento radicular e à produtividade da cultura do amendoim. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com cinco níveis de compactação, duas profundidades e quatro repetições. Foram coletadas amostras indeformadas do solo nas camadas de 0,02-0,05; 0,08-0,11 e 0,15-0,18 m para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP), densidade e porosidade do solo. Para a determinação da densidade radicular, superfície radicular, diâmetro radicular e massa seca das raízes, foram coletadas amostras em duas camadas do solo (0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade). O tráfego de tratores, com umidade próxima à capacidade de campo ($0,16 \text{ kg kg}^{-1}$), proporcionou o aumento da RP de 1,16 a 3,77 MPa, causando aumento do diâmetro das raízes e reduções da densidade, superfície e massa seca das raízes, assim como perdas na produtividade do amendoim.

Palavras-chave adicionais: resistência à penetração, densidade do solo, *Arachis hypogaea* L.

Abstract

The aim of this work was to evaluate the effects of soil compaction on the physical attributes of a Haplustox soil and associate them with peanut root growth and productivity. A completely random design was used with split plots (five compaction levels and two depths) and four replications. Intact soil samples were collected at the soil depths of 0.02-0.05, 0.08-0.11, and 0.15-0.18 m for the determination of resistance to penetration (RP), soil density and porosity. For root density, surface, diameter and dry mass determinations the samples were collected at 0-0.10 and 0.10-0.20 m. Tractor traffic on soil near to field capacity (0.16 kg kg^{-1}), resulted in an increase in compaction levels at the shallower depths and consequently larger root diameters and smaller root densities. At the average RP levels of 2.45 and 2.55 MPa there was a reduction in root dry mass and surface, respectively. Resistance to penetration levels ranging from 1.16 to 3.77 MPa promoted root growth alterations. The peanut yield was linearly reduced at RP level of 1.16 MPa.

Additional keywords: resistance to penetration; bulk density; *Arachis hypogaea* L.

Introdução

A cultura do amendoim tem sido utilizada principalmente nas áreas de reforma de canaviais que, em geral, apresentam solos mais compactados, como alternativa para a rotação de culturas no sistema de plantio direto (SPD). Segundo FLOWERS & LAL (1998), a principal

causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas em operações de preparo do solo, semeadura, tratamentos culturais e colheita. Em consequência dessa compactação, tem-se aumento da resistência mecânica do solo à penetração, redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água, reduzindo o cres-

cimento e o desenvolvimento radicular das culturas (STRECK et al., 2004). Além disso, a compactação do solo reduz a absorção de água e de nutrientes pelas plantas por interferir na aeração do solo, diminuindo a disponibilidade de oxigênio e, em consequência, influenciando na intensidade do processo de respiração, já que a absorção de nutrientes pelas raízes é um processo ativo que consome energia (EPSTEIN, 1975).

Os valores críticos de resistência mecânica do solo à penetração (RP), ao crescimento radicular e, conseqüentemente, à produtividade das culturas agrícolas variam com o tipo de solo, conteúdo de água, teor de matéria orgânica, culturas e até cultivares (TAYLOR et al., 1966; DEXTER, 1987), sendo que, na literatura, são encontrados resultados contraditórios quanto ao desenvolvimento das plantas em solos compactados. Dessa forma, CINTRA & MIELNICZUK (1983) observaram redução de 50% no comprimento radicular do tremoço e da soja na RP de 1,0 MPa. ROSOLEM et al. (1994a) também verificaram redução de 50% no crescimento radicular da soja com uma RP de 0,69 MPa. Para MIELNICZUK et al. (1985), houve redução de 86% no comprimento radicular da soja quando a RP chegou a 2,35 MPa. ROSOLEM et al. (1994b) observaram que, para o milho, a redução de 50% no crescimento radicular foi observada em uma RP de 1,42 MPa. No entanto, SILVA et al. (2002) adotaram um valor de 2,0 MPa de RP do solo como crítico e limitante para o crescimento das raízes e da parte aérea das culturas.

Segundo BEUTLER et al. (2004a), os diferentes valores críticos de RP para as culturas podem ser explicados, em parte, pelos diversos penetrômetros utilizados nas determinações, sendo que essas diferenças aumentariam com a compactação e o teor de argila, evidenciando a necessidade da padronização dos penetrômetros. Assim, HERRICK & JONES (2002) recomendaram a utilização de penetrômetros estáticos com velocidade constante de penetração, tanto por sua maior precisão como também para padronizar as determinações. Outro fator seria a uniformização da umidade das amostras indeformadas por meio de câmaras de Richards antes das leituras de resistência, eliminando também a interferência imposta pela variabilidade da umidade das amostras nas leituras. Neste sentido, o conteúdo de água na capacidade de campo seria considerado o ideal para a determinação da resistência mecânica à penetração, a fim de que seja possível fazer inferência com dados da literatura.

Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da compactação provocados

pelo tráfego de tratores, sobre determinados atributos físicos do solo e associá-los ao crescimento radicular e à produtividade da cultura do amendoim, já que são escassos os trabalhos na literatura que avaliam o efeito da compactação no desenvolvimento e na produtividade do amendoim.

Material e métodos

O experimento foi realizado em Jaboticabal (SP), nas coordenadas geográficas 21° 15' 29" de latitude sul e 48° 16' 47" de longitude oeste e altitude média de 614 m. O clima é do tipo Cwa, segundo o sistema de classificação de Köppen, com verão quente e inverno seco, precipitação média anual de 1.428 mm e temperatura média de 21 °C. As precipitações pluviométricas diárias durante o ciclo da cultura (novembro a abril) estão apresentadas na Figura 1.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura média, A moderado, caulinitico, hipoférrico (LVd), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). A composição granulométrica do solo foi determinada em amostras deformadas, na profundidade de 0-0,20 m, através da dispersão com NaOH (0,1 mol L⁻¹) e agitação lenta (30 rpm) durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986). O solo apresentou 323 g kg⁻¹ de argila, 45 g kg⁻¹ de silte e 632 g kg⁻¹ de areia na camada de 0-0,20 m.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas 5x2 (cinco níveis de compactação e duas profundidades), com quatro repetições, totalizando 20 parcelas de 3,5 m x 3,6 m.

No mês de setembro de 2004, foi aplicado calcário para a elevação da saturação por bases a 60%, incorporando-o com uma gradagem aradora. Antes da instalação do experimento, toda a área foi escarificada a 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem niveladora.

Os tratamentos foram: T₀= solo não-trafegado; T₁*= 1 passada de um trator de 4 Mg de peso; T₁= 1 passada de um trator de 11 Mg; T₂= 2 passadas de um trator de 11 Mg, e T₄= 4 passadas de um trator de 11 Mg de peso. Os tratores trafegaram por toda a parcela, no sentido do declive da área, de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre si.

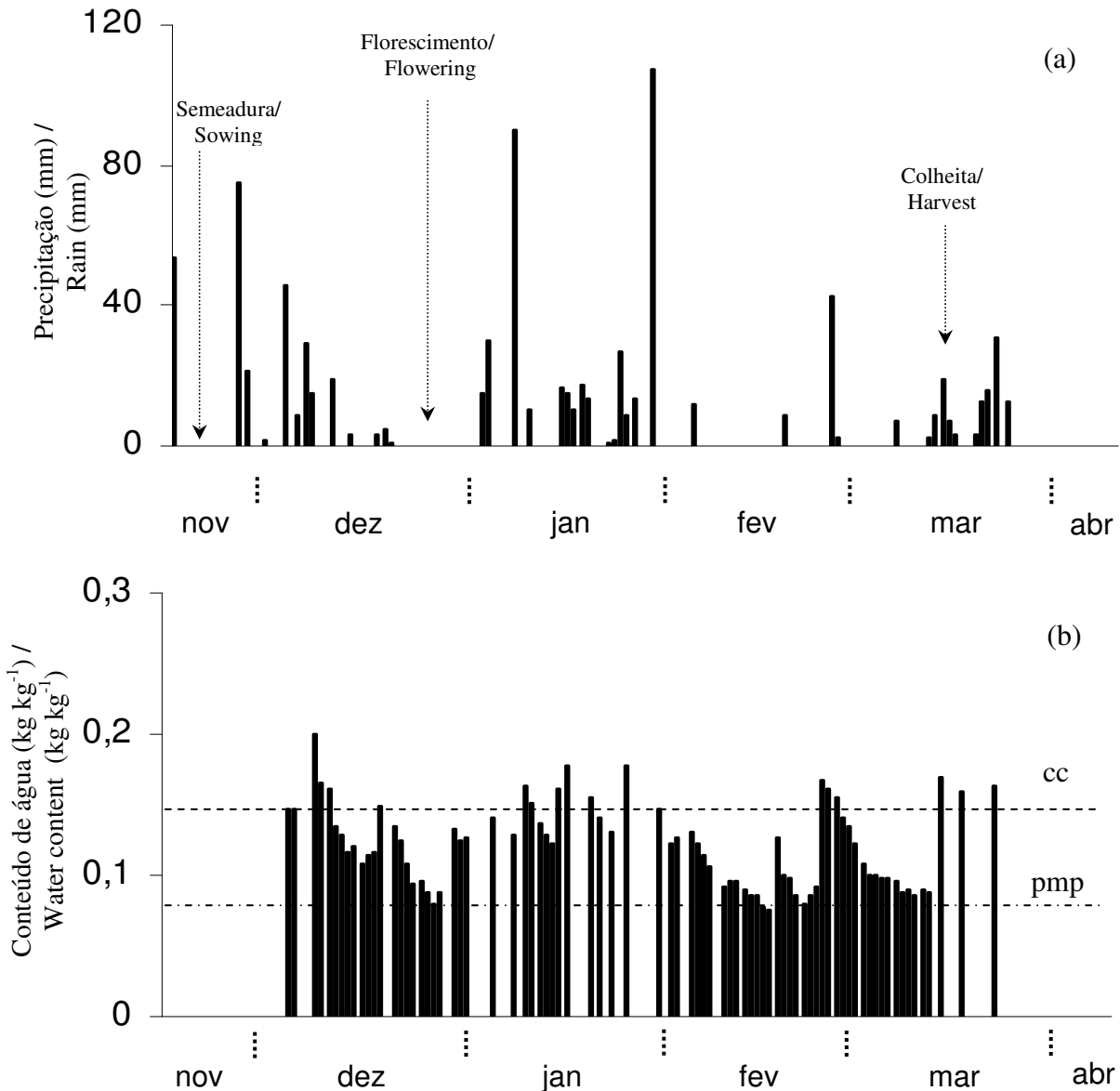


Figura 1 - (a) Precipitação diária no período de 18 de novembro a 10 de abril de 2005; (b) conteúdo de água no ponto de murcha permanente (pmp) e na capacidade de campo (cc), na camada de 0-0,20 m do Latossolo Vermelho, no período de 7 de dezembro a 24 de março de 2005.

Figure 1 - (a) Daily precipitation from November 18th, 2004 to April 10th, 2005; (b) Water content at the permanent wilting point (pmp) and in field capacity (cc) at the depth of 0-0,20m from December 7th, 2004 to March 24th, 2005.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

O número de vezes que os tratores trafegaram variou conforme o tratamento, sendo que o tráfego era sobreposto ao anterior de forma que toda a área de cada parcela fosse trafegada com número igual de vezes. O conteúdo de água do solo durante a compactação esteve próximo à capacidade de campo (0,16 kg kg⁻¹), determinada na tensão de 0,01 MPa.

O solo foi analisado quimicamente, segundo metodologia citada por RAIJ et al. (1987), e adubado com 0,3 Mg ha⁻¹ do adubo formulado 02-20-20, para a obtenção da produtividade esperada de amendoim de 3 Mg ha⁻¹, segundo RAIJ et al. (1997). No dia 22 de novembro de 2004, foi semeado o amendoim (*Arachis hypogaea* L.), cultivar IAC Tatu ST, no espaçamento de 0,9 m entre linhas, distribuindo-se 30 sementes por metro e, após 15 dias, foi realizado

o desbaste, ajustando-se a densidade para 20 plantas por metro. A parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 3,5 m de comprimento, considerando-se como parcela útil as duas linhas centrais.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo, na entrelinha da cultura, com cilindros de $53,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ (0,03 m de altura e 0,048 m de diâmetro), nas camadas de 0,02-0,05; 0,08-0,11 e 0,15-0,18 m, para as determinações dos atributos físicos. A microporosidade foi determinada por secagem (tensão de 0,01 MPa), em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986), a porosidade total, segundo DANIELSON & SUTHERLAND (1986), e a macroporosidade, obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. No conteúdo de água retida na tensão de 0,01 MPa, determinou-se a resistência mecânica do solo à penetração (RP), com duas repetições por amostra, na camada de 0,01 a 0,02 m no cilindro, perfazendo 100 leituras por repetição, que foram utilizadas para a obtenção da RP média. A RP foi determinada com o penetrômetro eletrônico estático, com velocidade constante de penetração de $0,01 \text{ m min}^{-1}$, cone com ângulo de 30° e com área da base de $2,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, equipado com atuador linear e célula de carga de 20 kg, acoplada a um microcomputador para a aquisição dos dados, conforme descrito por TORMENA et al. (1998b). Na seqüência, as amostras foram secas em estufa, a aproximadamente 105°C , durante 24 horas, para a determinação da densidade do solo (BLAKE & HARTGE, 1986).

Aos 73 dias, foram retiradas amostras de solo com raízes nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, com auxílio de um cubo metálico de 0,10 m x 0,10 m x 0,10 m, posicionando-o encostado às plantas e paralelamente à linha de semeadura. Em seguida, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente, utilizando-se de peneira de abertura de malha de 0,005 m. As raízes foram digitalizadas em um "scanner" de leitura óptica, na resolução de 400 dpi, e analisadas quanto à densidade, superfície e diâmetro radicular pelo software "Delta-T Scan", utilizando o método de HARRIS & CAMPBELL (1989). Na seqüência, as amostras foram secas em estufa a aproximadamente 65°C até massa constante, para a determinação da massa seca.

A produtividade do amendoim em casca foi obtida extrapolando-se a produção de vagens da área útil das parcelas para um hectare, considerando-se a umidade-padrão de 8%, em base úmida.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e regressão entre a resistência do solo à penetração, e os parâmetros da cultura, avaliados de acordo com os procedimentos do Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

Resultados e discussão

Os valores médios e erros-padrão da macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e densidade do solo, nos diferentes níveis de compactação e camadas do Latossolo Vermelho, são apresentados na Tabela 1. Observou-se que, à medida que a compactação do solo aumentou, houve decréscimo da macroporosidade, acréscimo da RP e densidade do solo em todas as camadas. Os maiores valores de RP e densidade, nos tratamentos T1*, T1, T2 e T4, devem-se ao tráfego intenso de máquinas associado à umidade do solo próxima à da capacidade de campo ($0,16 \text{ kg kg}^{-1}$). No tratamento T₀, ocorreram maiores valores de macroporosidade e menores valores de RP e densidade do solo, comparativamente aos tratamentos com tráfego, que podem ser atribuídos ao revolvimento do solo com grade seguido pela escarificação. Entretanto, o tráfego de tratores proporcionou pequena variação no volume de microporos (Tabela 1). Segundo SILVA & KAY (1997), o volume de microporos é pouco influenciado pelo aumento da densidade do solo, o que comprova a semelhança de microporosidade entre os tratamentos que receberam tráfego. Esses resultados corroboram os de STRECK et al. (2004) e SECCO et al. (2004), em que a aplicação de tráfego sobre um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e um Latossolo Vermelho distroférico, respectivamente, aumentou a RP e a densidade do solo, reduziu a macroporosidade e não afetou a microporosidade. Segundo TORMENA et al. (1998a), a macroporosidade é a classe de poros menos estável e que mais se modifica quando submetida aos estresses aplicados pelos sistemas de preparo e pelo tráfego de máquinas.

No tratamento T₀ (solo não trafegado), a maior compactação ocorreu na camada de 0,15-0,18 m, o que pode ser confirmado pelos menores valores de macroporosidade ($0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e os maiores valores de RP (1,41 MPa) e de densidade do solo ($1,41 \text{ Mg m}^{-3}$) observados nessa camada, que provavelmente sejam devidos à utilização das grades aradora e niveladora no preparo do solo, evidenciando que o sistema de preparo convencional se destaca como um sistema que proporciona a formação

de impedimentos físicos logo abaixo das camadas de solo movimentadas, conforme observado por MARIA et al. (1999) e STONE & SILVEIRA (2001).

Tabela 1 - Valores médios e erros-padrão da macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e densidade do solo nos diferentes níveis de compactação e camadas do Latossolo Vermelho.

Table 1 - Mean values and standard errors of a Haplustox soil macroporosity, microporosity, resistance to penetration, and density as functions of different soil compaction levels and sampling depths.

Camada de solo/ Soil depths (m)	Nível de compactação / Compaction levels				
	T ₀	T ₁ *	T ₁	T ₂	T ₄
Macroporosidade (m³ m⁻³) / Macroporosity (m³ m⁻³)					
0,02-0,05	0,26±0,00	0,09±0,01	0,07±0,01	0,05±0,01	0,05±0,01
0,08-0,11	0,23±0,00	0,08±0,01	0,07±0,01	0,06±0,00	0,05±0,01
0,15-0,18	0,17±0,06	0,10±0,01	0,08±0,01	0,09±0,01	0,07±0,00
Microporosidade (m³ m⁻³) / Microporosity (m³ m⁻³)					
0,02-0,05	0,26±0,00	0,30±0,00	0,30±0,01	0,29±0,01	0,28±0,01
0,08-0,11	0,27±0,00	0,30±0,01	0,30±0,01	0,29±0,01	0,30±0,01
0,15-0,18	0,28±0,02	0,29±0,01	0,30±0,01	0,29±0,01	0,29±0,00
Resistência à penetração (MPa)* / Resistance to penetration (MPa)*					
0,02-0,05	0,83±0,13	2,07±0,02	2,71±0,09	3,57±0,32	5,03±0,01
0,08-0,11	1,23±0,44	2,38±0,03	2,15±0,04	2,75±0,23	3,99±0,28
0,15-0,18	1,43±0,15	2,17±0,14	2,23±0,02	3,01±0,15	3,02±0,49
Densidade do solo (Mg m⁻³) / Soil density (Mg m⁻³)					
0,02-0,05	1,24±0,02	1,58±0,01	1,67±0,01	1,75±0,02	1,79±0,01
0,08-0,11	1,32±0,02	1,66±0,01	1,66±0,01	1,71±0,01	1,74±0,01
0,15-0,18	1,41±0,02	1,62±0,01	1,64±0,01	1,67±0,01	1,68±0,01

* Valores de resistência do solo à penetração no conteúdo de água retida na capacidade de campo (0,01MPa).

* Values of soil resistance to penetration at the moisture level of field capacity (0,01 MPa).

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Entretanto, nos tratamentos trafegados, devido à elevada condição de umidade do solo e o grande porte das máquinas, houve maior compactação nas camadas mais superficiais, de 0,02-0,05 m e 0,08-0,11 m. Dessa forma, o tráfego de máquinas sobre o solo provocou compactação superficial, corroborando HORN et al. (1995).

As médias e os erros-padrão do diâmetro radicular, superfície radicular, densidade radicular e massa seca das raízes do amendoim, em duas camadas do Latossolo Vermelho, são apresentados na Tabela 2. O efeito da compactação do solo no diâmetro, superfície e densidade radicular do amendoim não diferiu entre camadas, não havendo interação entre a profundidade e a compactação. Contudo, para as médias da massa seca das raízes, observou-se diferença entre as camadas do solo (Tabela 2). Na camada de 0-0,10 m, ocorreu a maior massa

seca das raízes, evidenciando que estas ficaram mais concentradas no sulco de semeadura, onde o solo está menos compactado, em decorrência do revolvimento ocasionado pelos mecanismos sulcadores da semeadora. Isso ocorreu porque as raízes não conseguiram distribuir-se lateralmente por ocasião dos altos valores de RP e densidade do solo.

Segundo INFORZATO & TELLA (1960), apesar de o sistema radicular do amendoim possuir capacidade de atingir profundidades superiores a 1,3 m, a maior concentração de raízes, cerca de 50% em massa, encontra-se na camada de 0-0,20 m. Logo, houve menor produção de massa seca na camada de 0,10-0,20 m porque o sulco de semeadura não atingiu a profundidade de 0,20 m. Essa, provavelmente, tenha sido uma das razões da menor produção de massa seca das raízes de amendoim na camada de 0,10-0,20 m.

Tabela 2 - Médias e erros-padrão do diâmetro radicular, superfícies radicular, densidade radicular e massa seca das raízes do amendoim em duas camadas do Latossolo Vermelho.¹

Table 2- Peanut plants root diameter, root surface, root density, and root dry matter at two depths in a Haplustox soil.

Camada de solo / Soil depths (m)	Parâmetros / Parameters			
	Diâmetro / Diameter (mm)	Massa seca / Dry mass (mg cm ⁻³)	Superfície / Surface (cm ² cm ⁻³)	Densidade / Density (cm cm ⁻³)
0-0,10	0,34 a±0,01	0,11 a±0,01	0,03 a±0,00	0,26 a±0,02
0,10-0,20	0,33 a±0,01	0,08 b±0,01	0,03 a±0,00	0,26 a±0,02
DMS (LSD)	0,018	0,016	0,004	0,035
CV (%)	9,60	37,00	27,40	25,26

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

¹ Means in the same column, followed by same letter, are not significantly different at the 5% level of probability according to Tukey's test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Por ser a RP o atributo físico do solo, atualmente muito utilizado como indicativo da sua compactação, foram estabelecidas equações de regressão da RP com os componentes de desenvolvimento radicular (Figura 2).

A compactação proporcionada pelo aumento do número de passagens de máquina sobre o solo ocasionou aumento linear no diâmetro das raízes (Figura 2a), concordando com GUIMARÃES et al. (2002), que também verificaram que o diâmetro médio das raízes do feijoeiro cultivado em vasos sobre um Latossolo Vermelho perférrico aumentou na camada mais compactada. Segundo TORRES & SARAIVA (1999), o impedimento mecânico do solo diminui a taxa de alongação radicular devido à redução da divisão celular meristemática e do crescimento radicular, tornando as raízes menos pontiagudas e, conseqüentemente, provocando maior engrossamento das raízes. No entanto, BEUTLER & CENTURION (2004b) verificaram, em raízes de soja, que o diâmetro radicular não sofreu alterações na camada de solo mais compactada.

De modo geral, verifica-se que o aumento do tráfego de máquinas sobre o solo proporcionou comportamento quadrático da massa seca e da superfície radicular (Figura 2b e 2c). Obtiveram-se os valores críticos de RP de 2,45 e 2,55 MPa, respectivamente, como valores médios de RP a partir dos quais a massa seca das raízes e a superfície radicular do amendoim começaram a decrescer. O aumento da massa seca das raízes e da superfície radicular com efeito quadrático também foi verificado em raízes de soja por BEUTLER & CENTURION (2004b). Os aumentos da massa seca e da superfície radicular

até seus respectivos pontos críticos indicam que certo grau de compactação do solo é benéfico para o desenvolvimento do sistema radicular. Segundo STIRZAKER et al. (1996) e KLUTHCOUSKI (1998), as plantas desenvolvem-se melhor em solos com baixa densidade, porém alta o suficiente para oferecer um bom contato das raízes com as partículas de solo, ocasionando maior absorção de água e nutrientes. Além da elevada resistência à penetração, a diminuição da massa seca e a superfície radicular podem ser explicadas pela redução no volume de macroporos (SÉGUY et al., 1999), que constituem a rota principal ao crescimento das raízes (CAMARGO & ALLEONI, 1997), resultando também na diminuição da concentração de oxigênio e difusão lenta de nutrientes e de oxigênio para as raízes (RIBEIRO, 1999).

O aumento da compactação do solo proporcionou reduções acentuadas na densidade radicular do amendoim (Figura 2d). O ajuste da equação de regressão linear indica que o amendoim apresentou redução do comprimento radicular com o aumento da compactação, corroborando ALVARENGA et al. (1996) os quais verificaram, em anéis de PVC com um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, que a densidade radicular do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) diminuiu drasticamente com o aumento da compactação, devido às modificações na estrutura do solo, na disponibilidade de água e na difusão de gases (TAYLOR & BRAR, 1991), assim como na disponibilidade de nutrientes (SILBERBUSH et al., 1983), que, por conseqüência, afetam o crescimento radicular das plantas.

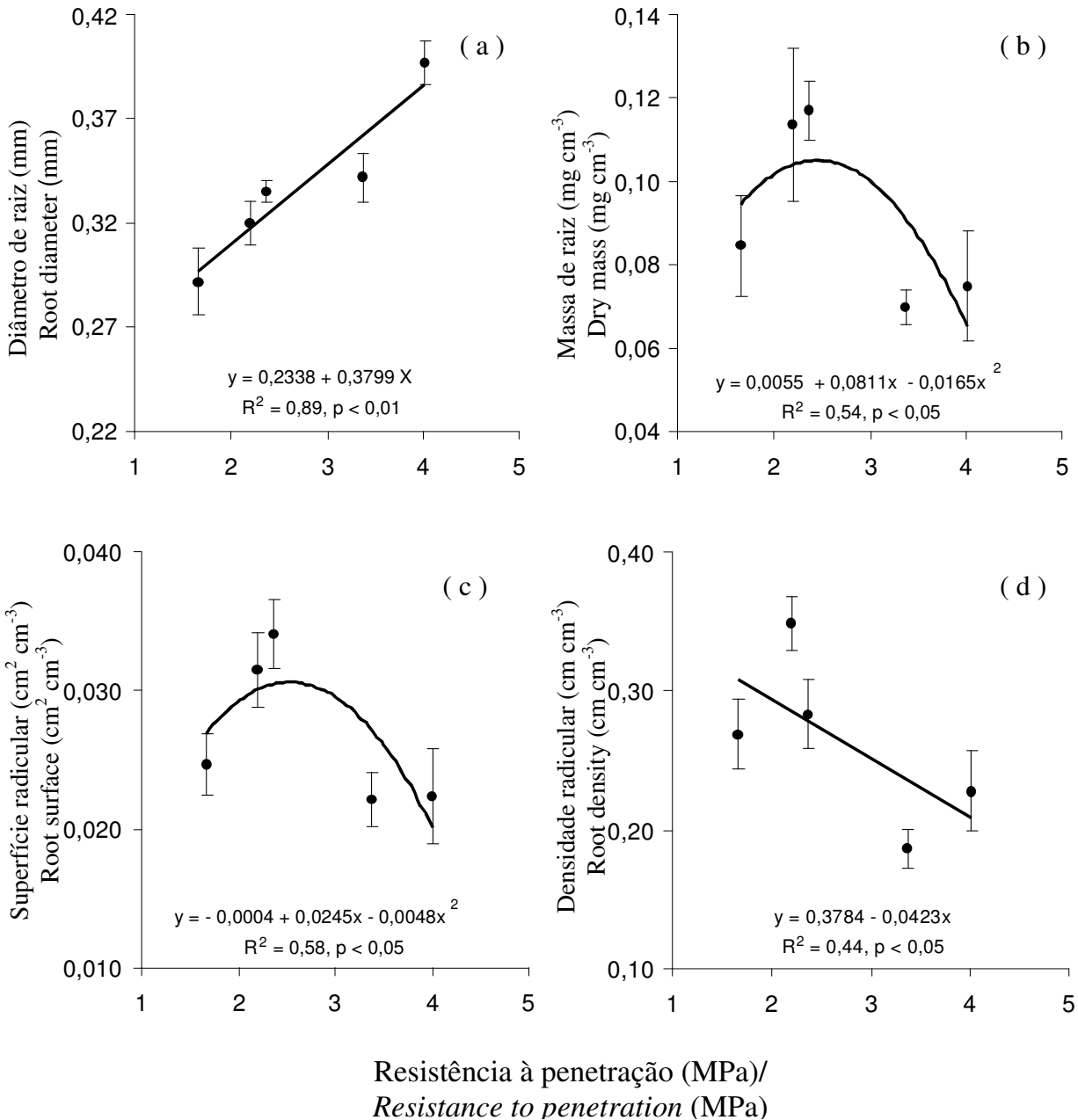


Figura 2 - Regressão entre a resistência mecânica à penetração e o diâmetro de raiz, massa seca das raízes, superfície radicular e a densidade radicular da cultura do amendoim. As barras verticais referem-se aos erros-padrão das médias.

Figure 2 - Regression between the mechanical resistance to penetration and mean radicular diameter, root dry mass, radicular surface and density of peanut plants. Vertical bars indicate the mean standard errors.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tão importante quanto o desenvolvimento radicular é a determinação da RP e sua relação com a produtividade do amendoim em casca. Dessa forma, foi estabelecida a equação de regressão entre a RP e a produtividade do amendoim (Figura 3).

Observa-se que ocorreu decréscimo linear da produtividade do amendoim em casca com

o aumento da resistência mecânica do solo à penetração (Figura 3). A produtividade foi limitada a partir da RP média de 1,16 MPa (solo não-trafegado), concordando com BEUTLER & CENTURION (2004b) e ALVES et al. (2001), que o desenvolvimento do sistema radicular foi limitado em valores de RP superiores a 1,16 MPa, reduzindo a produtividade da soja e do feijão.

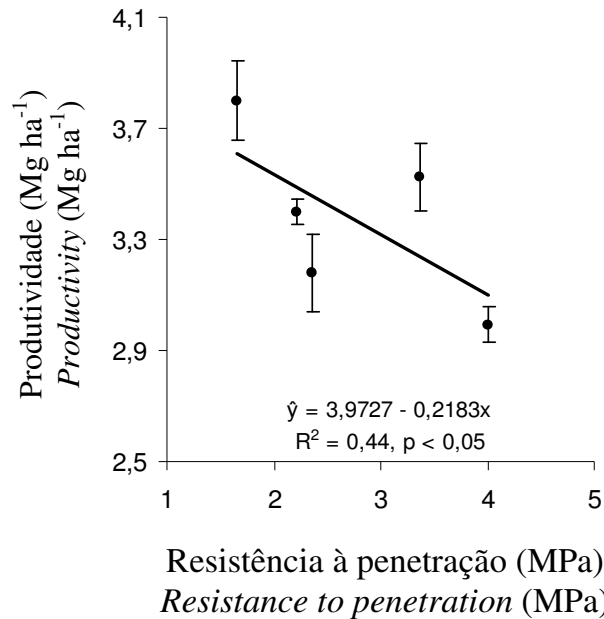


Figura 3 - Regressão entre a resistência mecânica à penetração e a produtividade do amendoim. As barras verticais referem-se aos erros-padrão das médias.

Figure 3 - Regression between the mechanical resistance to penetration and peanut yield. Vertical bars indicate the mean standard error.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

A produtividade foi limitada a partir da RP média de 1,16 MPa (solo não-trafegado), concordando com BEUTLER & CENTURION (2004b) e ALVES et al. (2001), que o desenvolvimento do sistema radicular foi limitado em valores de RP superiores a 1,16 MPa, reduzindo a produtividade da soja e do feijão. Outro aspecto importante é que, pela característica da espécie *A. hypogaeae*, a frutificação é sob a superfície do solo e os altos valores de RP encontrados nos tratamentos que receberam tráfego, dificultaram a penetração do ginóforo e a posterior formação da vagem por causa da maior proximidade e coesão das partículas de solo. Essa característica botânica possivelmente, também, tenha sido responsável pela menor produtividade do amendoim nos tratamentos que receberam tráfego.

Conclusões

O tráfego sobre o solo com o conteúdo de água equivalente ao da capacidade de campo (0,16 kg kg⁻¹), determinada na tensão 0,01 MPa, compactou o solo, causando aumento linear do diâmetro radicular, decréscimo linear da densidade e efeito quadrático na massa seca e na superfície do sistema radicular do amendoim.

A produtividade do amendoim decresceu linearmente com o aumento da compactação do

solo, sendo a maior produtividade obtida no solo revolvido e não-trafegado.

Referências

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.2, p.319-326, 1996.

ALVES, V. G.; ANDRADE, M. G. B.; CORRÊA, J. B. D.; MORAES, A. R.; SILVA, M. V. Crescimento e produção de vagens do feijoeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.5, p.1.051-1.062, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois latossolos. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.2, p.181-192, 2004a.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 6, p.581-588, 2004b.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Madison:

- American Society of Agronomy, 1986 part.1, p. 377-382.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP, 1997. 132p.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.7, n.2, p.197-201, 1983.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part.1, p. 443-461.
- DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, n.3, p. 303-312, 1987.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. 412p.
- EPSTEN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 344 p.
- FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwestern Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, n.1, p. 21-35, 1998.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part.1. p. 383-411.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro-II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.213-218, 2002.
- HARRIS, G. A.; CAMPBELL, G. S. Automated quantification of roots using a simple image analyzer. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.6, p.935-938, 1989.
- HERRICK, J. E.; JONES, T. L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, n.4, p.1320-1324, 2002.
- HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.45-69.
- INFORZATO, R. S.; TELLA, R. Sistema radicular do amendoim. **Bragantia**, Campinas, v.19, n.2, p.119-123, 1960.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part.1, p.635-662.
- KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão após oito anos de plantio direto**. 1998. 179f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. 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**, Viçosa, v.23, n.3, p.703-709, 1999.
- MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.38, n.1, p.42-43, 1985.
- QUAGGIO, J. A.; GODOY, I. J. Amendoim. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p.192.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RIBEIRO, M. A. V. **Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade**. 1999. 71f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- 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, 1994a.
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, n.3, p.491-497, 1994b.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistic**. Cary, 1999. 846p.
- SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.797-804, 2004.
- SILBERBUSH, M.; HALLMARK, W. B.; BARBER, S. A.; Simulation of effects of soil bulk density and P addition on K uptake of soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.14, n.2, p.287-296, 1983.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1.775-1.781, 1994.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1-2, p.877-883, 1997.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo de sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep: 2002. p.1-18.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A. C.; TAFFAREL, V.; TAFFAREL, J. **Plantio direto do arroz de sequeiro de alta tecnologia na zona tropical úmida do centro-norte do Mato Grosso**. Piracicaba: Potafós, 1999. 29p.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.
- STIRZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density biopores. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.185, n.1, p.151-162, 1996.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004.
- TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, n.2-3, p.111-119, 1991.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p.18-22, 1966.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.301-309, 1998a.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p. 573-581, 1998b.
- TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23).

Recebido em 25-1-2006.

Aceito para publicação em 10-1-2007.