

ARTIGO



**AUTORES:**

**Valter Luiz Barbosa da Silva<sup>1</sup>**

**Paulo Fernando da Silva Martins<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centro Universitário Luterano de Ji-Paraná, 76.907-438, Ji-Paraná - RO, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém - PA, Brasil

Recebido: 22/03/2006

Aprovado: 18/03/2010

**AUTOR CORRESPONDENTE:**

Valter Luiz Barbosa da Silva  
Email: valterlbs@bol.com.br

**PALAVRAS-CHAVE:**

Café,  
Espaçamento,  
Densidade do solo,  
Sistema radicular.

**KEY WORDS:**

Coffee plant,  
Spacing,  
Bulk density,  
Roots.

## ***Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade conilon, sob diferentes espaçamentos***

### ***Physical soil properties and root system of the Coffee canephora conilon variety when spaced out at different intervals***

**Resumo:** A caracterização física do solo é de fundamental importância para a avaliação das limitações agrícolas, pois está diretamente relacionada ao crescimento do sistema radicular das plantas e, conseqüente-mente, ao desenvolvimento das culturas. O objetivo deste estudo foi avaliar algumas propriedades físicas do solo cultivado com café (*Coffea canephora*, Pierre), variedade conilon, em espaçamentos que variaram de 2,0 ; 3,0 e 4,0 m de distância entre as linhas e de 1,0 m de distância entre as plantas. O trabalho incluiu a coleta e a análise de amostras de solo com estrutura deformada e estrutura indeformada, retiradas em quatro profundidades, até 0,4 m e a 1,0 m de distância lateral do tronco das plantas. As propriedades físicas analisadas foram: a composição granulométrica, a densidade do solo, a densidade de partículas e a porosidade total. Foi determinada a quantidade de matéria seca de raízes em três classes de diâmetro (finas, médias e grossas), nas mesmas profundidades adotadas na coleta das amostras de solos, a 0,5 e a 1,0 m de distância do tronco da planta. Verificou-se que as propriedades físicas não foram afetadas pelo tipo de espaçamento utilizado e que os valores observados não atingiram níveis críticos para o desenvolvimento das raízes. Foi observada a relação da diminuição da densidade do solo e do aumento da porosidade do solo com o aumento da quantidade de raízes de 1 a 3 mm de diâmetro.

**Abstract:** The physical properties of soils are essential for the assessment of agricultural limitations, because these are directly related to the growth of a plant's root systems and, consequently, to crop development. The aim of this study was to evaluate some of the physical properties of soils cultivated with coffee (*Coffea canephora*, Pierre), conilon variety, planted in 2.0 m, 3.0 m and 4.0 m rows, with 1.0 m between plants. Structured and non-structured soil samples were collected from four depths up to 0.4 m at a distance of 1.0 m from the coffee plant stem. The physical properties evaluated were: composition of particles by size, particle density, total density and total porosity. Quantities of dry root matter were measured using three categories of root diameter (fine, medium and large). These root samples were collected at the same depths as the soil samples, at a distance of 0.5 and 1.0 m from the coffee plant stems. The physical properties were not affected by row size and the values obtained did not indicate any retardation of root development. A larger number of roots of between 1 and 3 mm in diameter was observed as soil density decreased and porosity rose.

## 1 Introdução

O crescimento das plantas nos diferentes estágios de crescimento, incluindo o desenvolvimento das raízes, é afetado diretamente pela disponibilidade de água e de oxigênio, pela temperatura e pelo impedimento mecânico que o solo pode oferecer ao desenvolvimento do sistema radicular (FORSYTHE, 1975). As plantas não crescem sem água e oxigênio; todavia, como a saturação em água e a aeração são inversamente proporcionais entre si, o excesso de água pode resultar em uma baixa taxa de difusão e em um reduzido conteúdo de oxigênio.

Relações importantes têm sido verificadas entre as propriedades físicas do solo e o sistema radicular das plantas. De um modo geral, o teor de água do solo influencia na aeração, na temperatura e no impedimento mecânico, os quais são afetados pela densidade do solo e pela distribuição do tamanho de poros. O aumento no teor de água reduz a aeração e a resistência do solo à penetração que, por sua vez, interagem e regulam o crescimento e o funcionamento das raízes, com reflexos no crescimento e na produtividade dos cultivos (REICHERT; REINERL; BRAIDA, 2003).

Tem-se observado que, sob determinadas condições, o crescimento das raízes está mais associado à aeração do solo quando há baixo impedimento mecânico. Há evidências claras de que o impedimento radicular é reduzido ou impedido quando o solo apresenta resistência à penetração igual ou maior do que 2 Mpa (REICHERT; REINERL; BRAIDA, 2003), o qual constitui um limite considerado crítico.

Gonçalves et al. (2006), estudando diferentes espécies herbáceas sob condições controladas de compactação, observaram que o crescimento das raízes das espécies estudadas, amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*), milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leek var. ADR 500) e kenaf (*Hybiscus cannabinus*), foi afetado, apesar de seus comportamentos diferentes. Freddi (2007) observou que o diâmetro das raízes do milho foi mais afetado pela compactação do solo do que a densidade das raízes ou a superfície total das raízes.

Por outro lado, é sabido que o conhecimento das características do sistema radicular auxilia na definição das práticas de preparo de solo e da fertilização (local e época de aplicação). Domesmo modo, o conhecimento da configuração do sistema radicular é fundamental para explicar os processos ecofisiológicos básicos, principalmente aqueles relacionados ao aproveitamento da água e de nutrien-

tes pelas plantas (GONÇALVES; MELLO, 2000).

A complexidade do sistema radicular, o crescimento e a arquitetura radicular variam amplamente, devido à interação dinâmica com um grande número de fatores físicos, químicos e biológicos do solo. O sistema radicular também sofre o efeito da variação do espaçamento entre plantas (ANDROCIOLO FILHO, 2002; PEREIRA et al., 2007; GUERRA et al., 2007). Carvalho et al. (2006) verificaram que o plantio de café adensado contribuiu para aumentar a produtividade; contudo, esse aumento diminuiu com o tempo, à medida que a planta crescia. Por outro lado, Bregonci et al. (2009) não encontraram diferenças decorrentes do espaçamento na altura das plantas e no diâmetro das copas.

O presente trabalho teve por objetivo estudar as relações da densidade de partículas, da densidade do solo e da porosidade total com a quantidade de matéria seca de raízes do cafeeiro, mediante três classes de diâmetro, em um Latossolo Vermelho-Amarelo franco-arenoso sob três espaçamentos, duas distâncias do tronco da planta e quatro profundidades.

## 2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em 2004, em uma área localizada no Campo Experimental da Universidade Luterana do Brasil (Ulbra), no município de Ji-Paraná, Estado de Rondônia, cultivada com cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre) de aproximadamente três anos de idade. A área possui relevo plano e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa.

Na avaliação do solo e das raízes se adotou um delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial. No caso do solo, o fatorial foi de 3 x 4, com 8 repetições, utilizando como variáveis independentes o espaçamento da cultura e a profundidade e, como variáveis dependentes, a densidade de partículas, a densidade do solo e a porosidade total. No caso da avaliação das raízes o fatorial foi de 3 x 2 x 4 com 4 repetições, considerando, como variáveis independentes, o espaçamento da cultura, a distância de coleta da amostra em relação ao tronco da planta e a profundidade do solo, e, como variáveis dependentes, a quantidade de raízes finas (menores que 1 mm de diâmetro), médias (1 a 3 mm) e grossas (maiores que 3 mm).

O espaçamento da cultura incluiu linhas de plantio que variaram de 2,0 m x 1,0 m (E1); 3,0 m x 1,0 m (E2) e 4,0 m x 1,0 m (E3). As profundidades de coleta foram de 0,0 a 0,1 m; 0,1 a 0,2 m; 0,2 a 0,3 m

e 0,3 a 0,4 m. As distâncias de coleta da amostra em relação ao tronco foram 0,5 m (D1) e 1,0 m (D2).

Para quantificação da matéria seca de raízes foi aberta, em cada parcela experimental, uma trincheira para facilitar a retirada das amostras de solo com estruturas indeformadas, tipo monólito. Nos mesmos sítios de coleta dos monólitos foram coletadas amostras deformadas e amostras indeformadas de solo na distância de 1 m em relação ao tronco do cafeeiro (D<sub>2</sub>). As amostras deformadas serviram para a análise granulométrica e a determinação da densidade de partículas.

A análise granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta para a fração argila, utilizando o hidróxido de sódio como dispersante e a determinação da densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA. CNPS, 1997). As amostras indeformadas foram coletadas em duplicata através de anéis de bordas cortantes e volume interno de 66 cm<sup>3</sup> e possibilitaram a determinação da densidade do solo e da porosidade total, sendo a última calculada através daquela e da densidade de partículas.

Após a retirada dos monólitos procedeu-se à separação das raízes por meio de lavagens sucessivas em água corrente, utilizando-se peneiras de 2,0 mm de abertura de malha. As raízes foram secas em estufa a 60 °C e em seguida separadas, com o auxílio de pinças.

A avaliação estatística constou da análise de variância, aplicação do teste de Duncan para comparação das médias das variáveis físicas do solo e das classes de diâmetro das raízes, utilizando-se o Sistema de Análise Estatística Sanest (ZONTA; MACHADO, 1991). Com o auxílio do programa Excel, foram determinados os coeficientes de correlação linear *r*, e suas respectivas significâncias estatísticas, através do teste F (GOMES, 1973), das variáveis físicas do solo com a quantidade de matéria seca de raízes das três classes de diâmetro estudadas.

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Características Químicas e Físicas do Solo

A Tabela 1 apresenta as características químicas do solo estudado. As quantidades das bases Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, e K<sup>+1</sup> podem ser consideradas baixas enquanto a do H<sup>+</sup> elevada, conferindo ao solo, na profundidade mais explorada pelas raízes, um ambiente com baixa quantidade de nutrientes e ele-

vada acidez potencial.

A Tabela 2 apresenta as quantidades das frações granulométricas e os valores de densidade de partículas nas quatro profundidades estudadas. As quantidades de areia, silte e argila possuem pequena variação em profundidade e não foi encontrada diferença estatística entre as profundidades, indicando que a área experimental apresentou as mesmas características granulométricas. Até 40 cm de profundidade o solo possui um elevado teor de areia e um relativamente baixo teor de argila, o que lhe confere uma textura franco-arenosa.

Observa-se que os valores da densidade de partículas variaram entre as profundidades, tendo a camada de 0 a 10 cm apresentado valor significativamente menor que o das demais camadas, as quais não diferiram entre si. O menor valor de densidade de partículas na camada mais superficial do solo (Tabela 2) muito provavelmente se deve à influência do teor de matéria orgânica, normalmente mais elevado nessa camada.

**Tabela 1** – Características químicas do solo.

Prof. (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	H	Al
	(H <sub>2</sub> O)	mg dm <sup>-3</sup>	.....	.....	.....	.....	.....
0-10	5,2	3,0	0,21	1,0	0,9	2,4	0,2
10-20	5,1	2,4	0,17	0,8	0,8	2,1	0,2
20-40	4,7	1,4	0,16	0,6	0,6	1,5	0,2

**Tabela 2** – Composição granulométrica do solo e densidade de partículas (Médias de 8 repetições).

Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	Densidade de partículas
	.....	.....	.....	(kg dm <sup>-3</sup> )
	..... g kg <sup>-1</sup> .....			
0 - 10	614a	192a	193a	2,52b
10 - 20	596a	225a	185a	2,56a
20 - 30	595a	206a	212a	2,57a
30 - 40	575a	224a	201a	2,56a
Média	595	212	198	2,55

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância pelo teste de Duncan a 5%.

#### 3.2 Densidade do Solo

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios obtidos para a densidade do solo que variou de 1,47 a 1,56 kg dm<sup>-3</sup>, com uma média geral de 1,49 kg dm<sup>-3</sup>, estando na faixa considerada normal para os solos minerais, que é de 1,1 a 1,6 kg dm<sup>-3</sup> (HILLEL, 1970). Observa-se que não houve diferença significativa desta variável, nos três espaçamentos. Quanto à profun-

didade, também não houve diferenças significativas entre as camadas estudadas. Considera-se como limite crítico a faixa de 1,73 e 1,88 kg dm<sup>-3</sup>, que ocorrem em camadas compactadas, as quais causam impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro (CARVALHO; SILVEIRA, 1989). Verifica-se, então, que os valores da densidade do solo encontrados neste estudo estão bem abaixo dos considerados impeditivos ao desenvolvimento do sistema radicular dessa cultura.

Os valores de densidade de partícula encontrados por Augusto, Martins e Góes (2004), estudando açazeiro e pupunheira em Latossolo amarelo de textura franco-arenosa, giram em torno de 2,60 kg dm<sup>-3</sup>, pouco maiores que os encontrados neste estudo (Tabela 2). Já os valores de densidade do solo aqui apresentados (Tabela 3) equivalem aos encontrados por aqueles autores no solo sob açazeiro (1,42 kg dm<sup>-3</sup>).

**Tabela 3** - Valores de densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>) cultivado com cafeeiro, em diferentes espaçamentos e profundidades (Média de oito repetições).

Profundidade (cm)	Espaçamento (m)			Média
	E1	E2	E3	
0-10	1,50	1,56	1,49	1,51a
10-20	1,50	1,48	1,50	1,49a
20-30	1,50	1,48	1,49	1,49a
30-40	1,50	1,47	1,50	1,49a
Média	1,50 A	1,50 A	1,48 A	1,49

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre espaçamentos e minúscula entre profundidades, não diferem entre si ao nível de significância pelo teste de Duncan a 1%.

### 3.3 Porosidade Total

Conforme pode ser verificado na Tabela 4, os valores de porosidade total variam de 38,8% a 42,8%, com média geral de 41,3%. Essa variável também não foi afetada pela diferença entre os espaçamentos; contudo, variou com a profundidade. A camada de 0 a 10 cm acusou valores mais baixos que os das camadas de 20 cm em diante.

Os valores da porosidade total, que atingem um valor mínimo de 38,8% no espaçamento E2, não comprometem o desenvolvimento da cultura, pois estão dentro dos limites de 30% e 60%, que contêm o intervalo considerado normal em solos minerais (HILLEL, 1970).

A inexistência de diferenças das propriedades físicas entre os diversos espaçamentos estudados pode estar ligada ao fato do cultivo de cafeeiro ter apenas três anos e não estar com o seu sistema radicular completamente desenvolvido.

**Tabela 4** - Valores de porosidade total do solo (%) cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos e profundidades (Média de oito repetições).

Profundidade (cm)	Espaçamento (m)			Média
	E1	E2	E3	
0-10	40,2	38,8	41,2	40,1b
10-20	41,8	40,9	41,0	41,2ab
20-30	42,0	42,6	41,8	42,1a
30-40	41,6	42,8	41,5	42,0a
Média	41,4A	41,2 A	41,4A	41,3

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas entre espaçamentos e minúsculas entre profundidades, diferem entre si ao nível de significância pelo teste de Duncan a 5%.

### 3.4 Distribuição das Raízes

Os dados apresentados na Tabela 5 indicam a distribuição da quantidade de matéria seca das três classes de raízes estudadas. Verifica-se que as raízes se concentram na faixa mais superficial do solo, diminuindo em profundidade à medida que se aproximam da profundidade de 0,4 m. Esse comportamento também foi observado por Rodrigues et al. (1996) e por Batistela-Sobrinho e Matiolo (1987). Verificou-se, neste estudo, que essa diminuição é bem mais evidente na classe de diâmetro de raízes finas (menores que 1,0 mm), a partir da profundidade de 0-10 cm e de raízes médias (de 1 a 3 mm), a partir da profundidade de 0,1-0,2 m. Quando se considera a ocorrência das raízes de acordo com a distância do tronco da planta, verifica-se uma diferença marcante nas três classes de tamanho, sendo superior à quantidade de raízes na distância de 0,5 m em relação à distância de 1,0 m, o que também pode dever-se ao fato das plantas não terem atingido sua plenitude.

**Tabela 5** - Matéria seca de raízes (g cm<sup>-3</sup>) pequenas (menores que 1,0 mm de diâmetro), médias (de 1,0 mm a 3,0 mm de diâmetro) e grandes (maiores que 3,0 mm de diâmetro) de cafeeiro, em duas distâncias do tronco (D1 e D2) e em diferentes profundidades do solo (Médias de quatro repetições).

Profundidade (cm)	Raízes Finas			Raízes Médias			Raízes Grossas		
	Distância do Tronco (m)								
	D1 0,50	D2 1,00	Média	D1 0,50	D2 1,00	Média	D1 0,50	D2 1,00	Média
0-10	1,398	0,997	1,197a	0,432	0,192	0,308a	0,280	0,000	0,140a
10-20	0,783	0,528	0,656b	0,507	0,060	0,283ab	0,234	0,008	0,126a
20-30	0,588	0,423	0,505b	0,460	0,112	0,286ab	0,064	0,000	0,032a
30-40	0,450	0,369	0,410c	0,171	0,102	0,136b	0,076	0,000	0,030a
Média	0,805A	0,579B		0,393A	0,114B		0,166A	0,002B	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas entre distâncias e minúsculas entre profundidades, diferem entre si ao nível de significância pelo teste de Duncan a 5%.



### 3.5 Relações entre Raízes e Variáveis Físicas do Solo

A Tabela 6 apresenta os coeficientes de correlação linear entre a quantidade de matéria seca de raízes dos diversos diâmetros e as variáveis do solo consideradas com seus respectivos graus de significância. Verificou-se que houve correlação negativa significativa entre a densidade de partículas e a quantidade de raízes finas; também negativa entre a densidade do solo e a quantidade de raízes médias, e positiva entre as raízes médias e a porosidade total. Isso significa que, tanto o diâmetro das raízes pode ter influência sobre a densidade e a porosidade do solo, como estas também podem estar influenciando o desenvolvimento das raízes, já que a porosidade, dependendo da configuração dos poros, permite ou não o desenvolvimento das raízes. Shierlaw e Alston (1984) verificaram que as raízes finas têm diâmetro semelhante ao dos poros do solo, indicando que há relação entre o tamanho dos poros e o desenvolvimento de raízes de tamanho compatível.

Em termos de relação entre a quantidade de raízes por diâmetro e propriedades físicas do solo, Góes (2000) verificou, em Latossolo Amarelo textura franco-arenosa, cultivado com açaizeiro e pupunheira, a relação das classes de diâmetro menor que 1 mm, entre 1 mm e 3 mm e maior que 3 mm com a densidade do solo, com a condutividade hidráulica e com o valor de poros maiores que 0,03 mm.

No caso deste estudo, com o cafeeiro em Latossolo textura média, a diminuição da densidade de partícula apresentou certa relação com a quantidade de raízes finas, assim como a diminuição da densidade do solo e o aumento da porosidade total mantiveram relação com uma maior quantidade de raízes de tamanho médio.

A relação negativa entre a quantidade de raízes finas e a densidade de partículas indica que essas raízes têm dificuldade de se desenvolver em um meio onde há partículas mais densas, mesmo quando essa propriedade está dentro dos limites considerados normais, como foi o caso.

A relação negativa da quantidade de raízes médias com a densidade do solo e positiva com a porosidade total indica que, em solos de natureza arenosa, como é o caso deste, as relações massa e volume afetam o crescimento das raízes desse tamanho. Essa influência, contudo, pode ser mais bem aferida quando se considera a distribuição de macro e de microporos que não foram incluídos neste trabalho.

**Tabela 6** – Coeficientes de correlação linear  $r$  (com os significantes em negrito) entre fatores da planta (diâmetro de raízes) e do solo com os respectivos valores de probabilidade  $p^*$  de significância entre parênteses.

Fatores	Dens. Partículas (kg cm <sup>3</sup> )	Dens. do Solo (kg cm <sup>3</sup> )	Porosidade Total (%)
Raízes Finas (<1 mm)	-0,22808 (0,0434)	-0,0978 (0,2968)	+0,03192 (0,5620)
Raízes Médias (1 - 3 mm)	-0,10423 (0,2012)	-0,31103 (0,0023)	+0,25821 (0,0115)
Raízes Grossas (>3)	+0,01351 (0,9236)	-0,15305 (0,1394)	+0,13370 (0,1892)

\* valores de  $p$  obtidos pela significância pelo teste F.

## 4 Conclusão

As propriedades físicas estudadas não foram influenciadas pelos espaçamentos na cultura do cafeeiro, sendo que a densidade de partículas e a porosidade total se apresentaram menores na camada mais superficial do solo (0-0,1 m).

Os resultados da densidade do solo, da densidade de partículas e, conseqüentemente, de porosidade total se situam fora dos níveis críticos de limitação ou impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular.

A quantidade de raízes finas (menores que 1,0 mm de diâmetro) diminuiu mais acentuadamente com a profundidade e a quantidade delas nas três classes (finas, médias e grossas) foi maior que 0,5 m de distância do tronco das plantas.

As raízes de diâmetro médio (1,0 a 3,0 mm) foram influenciadas pela densidade do solo e pela porosidade total, enquanto as raízes finas pela densidade de partículas.

## Referências

- ANDROCIOLI FILHO, A. *Café adensado: espaçamento e manejo da lavoura*. Londrina: Iapar, 2002.
- AUGUSTO, S.G.; MARTINS, P.F. da S.; GÓES, A.V. de M. Propriedades físicas do solo sob as culturas do cacau (*Theobroma cacao* L.), da pupunha (*Bactris gaesipaes* H.B.K.) e do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em cultivo tradicional. *Revista de Ciências Agrárias*, n.42, jul./dez. 2004.
- BATISTELA-SOBRINHO, J.; MATIELLO, J.B. Avaliação do sistema radicular de cafeeiros conilon em comparação com Catuai e Mundo Novo em Alta Floresta-MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas. *Trabalhos apresentados...* Rio de Janeiro: IBC, 1987. (1 Cd-Room).

- BREGONCI, I. dos S.; BRUM, V.J.; ZINI JÚNIOR, A.; OLIVEIRA, C.M.; SANTOS, J.G. dos; REIS, E.F. dos. Características agronômicas do café conilon clonal cultivado em espaçamento duplo. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2009, São José dos Campos. São José dos Campos: Universidade do Vale da Paraíba, 2009.
- CARVALHO, C.H.S.; SILVEIRA, J.S.M. Efeito da densidade do solo no crescimento do sistema radicular de mudas de café conillon (*Coffea canephora*) formadas por estacas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 15., 1989, Maringá. *Trabalhos apresentados...* Rio de Janeiro: IBC, 1989. p.1778-1780.
- CARVALHO, G.R.; MENDES, A.N.G.; BARTHOLO, G.F.; NOGUEIRA, A.M.; AMARAL, M.A. Avaliação da produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v.30, n.5, p.838-843, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. (Documentos, 1).
- FORSYTHE, W. *Física de suelos*; manual de laboratório. New York: University Press, 1975. 324p.
- FREDDI, O.S. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.31, p.627-676, 2007.
- GÓES, A.V. de M. *Relações entre propriedades físicas do solo e sistema radicular das culturas do cacau, pupunha e açaí*. 2000. 67f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2000.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Nobel, 1973. p.308-311.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. *Sistema radicular das árvores. Nutrição e fertilização de florestas*. Piracicaba: Ipef, 2000. cap.8.
- GONÇALVES, W.G.; JIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FILHO, J.V. de; DE ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; PIRES, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.1, p.67-75, 2006.
- GUERRA, A.F. et al. *Comportamento de três cultivares de café submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas e regimes hídricos do cerrado*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 17p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 188).
- HILLEL, D. *Solo e água: fenômenos e princípios físicos*. Porto Alegre: UFRGS. Departamento de Solos, 1970. 231p.
- OLIVEIRA, C.M.; BREGONCI, I. dos S.; MARRÉ, W.B. et al. Características agronômicas do café conilon cultivado em altitude superior ao recomendado. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2009, São José dos Campos. São José dos Campos: Universidade do Vale da Paraíba, 2009.
- GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; MERA, A.C.; CORDEIRO, A. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) recepados em duas épocas conduzidas em espaçamentos crescentes. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v.31, n.7, p.643-649, 2007.
- REICHERT, J.N.; REINERL, D.J.; BRAIDA, J.A. *Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola*. Santa Maria: UFSM. Departamento de Solos; Pato Branco: Cefet. Coord. de Agronomia, 2003. 17p.
- RODRIGUES, J.L.A.; SAN JUAN, R.C.C.; LESSI, R.A.; MATIELLI, A. Distribuição do sistema radicular do cafeeiro no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. *Trabalhos apresentados...* Rio de Janeiro: MAA/Procafé, 1996. p.190-191.
- SHIERLAW, J.; ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.77, p.15-28, 1984.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. *Sistema de análise estatística para microcomputadores (Saneste)*. Pelotas: UFPel. Departamento de Matemática e Estatística, 1991. 101p.