
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM LAVOURA DE CAFEEIRO CONILON SUBMETIDA À SUBSOLAGEM

Joabe Martins de Souza¹, Robson Bonomo², Fábio Ribeiro Pires³, Diego Zancanella Bonomo⁴

RESUMO

O preparo do solo modifica os atributos físicos, melhorando o desenvolvimento das culturas agrícolas. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito residual dos atributos físicos do preparo do solo, realizado no plantio de cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre). A área do experimento foi composta pelos seguintes talhões: T11, T7 e T3, cultivadas com cafeeiro a 11, 7 e 3 anos, respectivamente, os quais foram submetidos à subsolagem nas linhas de plantio durante sua implantação. Foram retiradas amostras indeformadas na linha (P1) e entrelinha (P2) da cultura nas profundidades de 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,70 m. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial, com três repetições. Os atributos do solo avaliados foram densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade e resistência à penetração do solo. A densidade do solo, volume total de poros e macroporosidade apresentaram diferenças significativas entre os pontos até 0,40 m, com maior volume total de poros e macroporos para o ponto P1 e maior densidade do solo para o ponto P2, não diferindo das demais. Houve aumento na microporosidade e diminuição na macroporosidade, em profundidade. Entre os talhões, não foi observada diferença significativa, mostrando que a melhoria da subsolagem persiste ao longo dos anos, nessa condição de cultivo. A resistência à penetração diferiu entre os pontos, ocorrendo um aumento com a profundidade, não diferindo entre os talhões. Foi observada entre densidade e porosidade do solo uma correlação positiva, já para densidade e macroporosidade negativa, concluindo que a subsolagem alterou os atributos do solo, reduziu a resistência à penetração melhorando as condições de cultivo.

Palavras-chaves: *coffea canephora* Pierre, compactação, densidade do solo, porosidade do solo, preparo do solo

ABSTRACT

SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES IN CONILON COFFEE PLANTATION SUBMITTED TO SUBSOILING

Soil preparation modifies its physical attributes, improving crop development. The objective of this study was to evaluate the residual effect of soil preparation on physical attributes, performed in a Conilon coffee plantation (*Coffea canephora* Pierre). The experimental area consisted of the following plots: T11, T3 and T7 cultivated with coffee for 11, 7 and 3 years, respectively, which were submitted to subsoiling in the rows during their implantation. Undisturbed samples were taken from the row (P1) and between rows (P2) of the culture at depths of 0.00-0.20, 0.20-0.40, 0.40-0.60 and 0.60-0.70 m. The experiment was set up in a completely randomized, factorial design with three replications. The soil attributes evaluated were bulk density, total porosity, macroporosity and microporosity and soil penetration resistance. Soil bulk density, total porosity and macroporosity showed significant differences between the points up to 0.40 m, with higher total porosity and macroporosity for the point P1 and higher bulk density for the point P2, not differing from the others. There was an increase in microporosity and decrease in macroporosity at increased depths. Among the plots no significant difference was observed, showing that the improvement of subsoil persists over the years for these culture conditions. Penetration resistance differed between points, increasing with depth, and did not differ between plots. A positive correlation was observed between soil density and porosity, while a negative correlation was shown for density and macroporosity, concluding that subsoiling altered soil properties, reduced penetration resistance, and improved growing conditions of the culture.

Keywords: *Coffea canephora* Pierre, compaction, soil density, soil porosity, soil tillage

Recebido para publicação em 26/10/2013. Aprovado em 28/07/2014.

1 - Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Produção Vegetal UFES/CCA/ Alegre - ES, joabenv@gmail.com

2 - Engenheiro Agrônomo, Professor da UFES/CEUNES/São Mateus – ES, robson.bonomo@gmail.com

3 - Engenheiro Agrônomo, Professor da UFES/CEUNES/São Mateus – ES, pires.fr@gmail.com

4 - Mestre em Agricultura Tropical UFES/CEUNES/São Mateus – ES, diegozancanella@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A agricultura, como importante atividade do setor agropecuário, desempenha função de vital relevância para o desenvolvimento social e econômico do Brasil. Em relação ao Estado do Espírito Santo, esse se destaca principalmente com relação à cultura do cafeeiro Conilon, dentre outras, tendo grande importância econômica e social no norte do Estado. Para manter essa importância, práticas realizadas antes da implantação de uma lavoura cafeeira têm significado especial e, neste contexto, o solo é o principal suporte da produção agrícola.

O preparo do solo está relacionado à sustentabilidade das culturas, pois influencia grande parte dos atributos físicos do solo, afetando todo o processo de estabelecimento, desenvolvimento e produção das plantas cultivadas. Estes sistemas devem proporcionar boas condições físicas do solo para que as plantas possam se desenvolver adequadamente (CORTEZ *et al.*, 2011).

Na cafeicultura, o preparo do solo visa melhorar as condições de desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro (LANI *et al.*, 2007), já que as raízes podem ser afetadas por vários atributos físicos do solo, esse preparo é realizado através de implementos como grades e subsoladores.

No Espírito Santo, os solos conhecidos como tabuleiros costeiros ocorrem predominantemente no norte e noroeste do estado (IJSN, 2012). Segundo Moreau *et al.* (2006), os solos de tabuleiros costeiros além de horizonte coeso, duas outras feições morfológicas são encontradas, fragipã e duripã, sendo estes mais frequentes nas áreas deprimidas da paisagem. As práticas que visam eliminar ou diminuir o horizonte coeso se tornam importantes antes da implantação das culturas nessa região.

As práticas indicadas para implantação da lavoura cafeeira são a aração, gradagem e a subsolagem (LANI *et al.*, 2007), sendo que o preparo do sulco de plantio constitui uma etapa importante desde sistema (SERAFIM *et al.*, 2011). Segundo Vitória *et al.* (2012), a produtividade vegetal depende de vários fatores, dentre os quais se destacam a densidade e a porosidade do solo.

Assim, o uso de máquinas agrícolas nas várias etapas do processo de produção, em condições inadequadas de umidade, tem sido o principal responsável por acarretar a degradação da estrutura do solo, diminuindo o seu potencial produtivo (ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2011; SEVERIANO *et al.*, 2011).

Atributos físicos do solo favoráveis ao crescimento do sistema radicular são necessários para a obtenção e manutenção de elevadas produtividades. Os solos devem possuir suficiente espaço poroso (macro e microporos) para o movimento da água e gases, bem como resistência favorável a penetração e desenvolvimento das raízes (PARENTE; MAIA, 2011), assim a densidade e porosidade total podem mostrar se o solo apresenta problema de compactação e condições adequadas para que a planta possa se desenvolver.

Richart *et al.* (2005) sugerem algumas práticas com a finalidade de se aliviar a compactação, sendo uma delas a descompactação do solo com auxílio de subsoladores e escarificadores, a adoção dessa e de outras técnicas poderão minimizar os efeitos da compactação do solo, melhorando assim o ambiente para desenvolvimento do sistema radicular das culturas e possibilitando a sustentabilidade da agricultura.

Em plantios de café com compactação superficial, recomenda-se utilizar o subsolador a uma profundidade de 0,2 a 0,3 m, já em áreas com camadas compactadas mais profundas, utiliza-se o implemento em profundidades de 0,5 a 0,7 m (MATIELLO *et al.*, 2010).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito residual dos atributos físicos do preparo do solo, realizado no plantio de cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em área com cultivo de cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre) localizada na rodovia São Mateus – Nova Venécia-ES, latitude 18°43'58,57" S e 40° 5' 52,97" O. O espaçamento empregado é de 3 x 1 m, sendo utilizado o sistema de poda programada do Conilon, que consiste da renovação do cafezal, por meio de podas drásticas, realizadas a cada quatro anos.

O clima do município de São Mateus é Aw, segundo classificação de Köppen é caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão. A precipitação média anual de 1200 mm concentra-se entre os meses de novembro e janeiro. A temperatura média anual é de 23 °C, e as médias máximas e mínimas são de 29 °C e 18 °C, respectivamente.

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Amarelo Coeso, textura média em A e argilosa em B (EMBRAPA, 2006).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial 3 x 4 x 2, com três repetições, sendo o primeiro fator os 3 talhões com idades diferentes T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos), o segundo fator foram as quatro profundidades amostradas (0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,70 m) e o terceiro fator foram os dois pontos P1 (linha do cafeeiro) e P2 (entrelinha do cafeeiro).

Os três talhões foram submetidos à subsolagem na linha do cafeeiro na época de plantio. Para realização da subsolagem do terreno foi utilizado

um trator Valmet, 4 x 4, traçado de 140 cv, com subsolador de 4 hastes de 0,50 m (T11 – 11 anos), um trator de esteira Carterpillar D6 com ripper de 0,80 m (T7 – 7 anos) e um trator de pneu John Deere de 180 cv com ripper de 0,80 m (T3 – 3 anos).

O manejo mecanizado da área realizada pelo agricultor ocorre no plantio e a cada 4 anos, com a realização da poda drástica das plantas de 0,20-0,40 m de altura do solo, com a utilização de um do trator de pneu Agrale 575 4 x4, com 65 cv de potência, munido de um triturador e aplicador de calcário. Ao longo do primeiro ano de implantação da lavoura

Quadro 1. Valores médios de areia grossa, fina, silte e argila em dois pontos, quatro profundidades e três talhões.

Talhão	Ponto	Camada (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Argila	Silte
			g kg ⁻¹			
T11	P1	0,00-0,20	621,88	145,34	221,05	11,74
		0,20-0,40	381,03	192,31	419,60	7,06
		0,40-0,60	345,42	158,84	488,89	6,85
		0,60-0,70	319,82	164,56	503,91	11,71
	P2	0,00-0,20	619,20	156,07	218,60	6,13
		0,20-0,40	441,53	181,18	362,09	15,20
		0,40-0,60	309,84	152,59	518,12	19,45
		0,60-0,70	306,02	152,31	534,27	7,40
T7	P1	0,00-0,20	528,27	165,12	293,06	13,55
		0,20-0,40	445,27	190,65	348,75	15,33
		0,40-0,60	361,52	177,17	448,19	13,13
		0,60-0,70	364,46	144,92	479,11	11,51
	P2	0,00-0,20	577,41	165,08	244,15	13,36
		0,20-0,40	449,79	158,84	381,38	9,99
		0,40-0,60	362,76	156,85	473,91	6,48
		0,60-0,70	352,87	140,20	501,52	5,41
T3	P1	0,00-0,20	507,84	178,40	299,60	14,15
		0,20-0,40	421,58	183,93	374,00	20,49
		0,40-0,60	373,10	158,45	458,71	9,74
		0,60-0,70	355,27	140,21	489,03	15,50
	P2	0,00-0,20	675,03	119,04	186,06	19,87
		0,20-0,40	514,98	179,32	292,30	13,41
		0,40-0,60	361,69	147,71	481,22	9,38
		0,60-0,70	354,26	129,47	508,37	7,90

e no pós-poda, também é realizada a aplicação de adubo foliar e defensivos, com média de cinco entradas utilizando um trator Agrale 4200, 4 x 2, com 30 cv de potência munido de um pulverizador.

Para determinação da densidade do solo e porosidade do solo foram coletadas nos pontos e profundidades anteriormente citadas, amostras com estrutura preservada (indeformadas), através de cilindros com 0,05 m de diâmetro e 0,03 m de altura, com o auxílio de um amostrador *Uhland*. Posteriormente, em laboratório, foi determinada a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, a macroporosidade e microporosidade do solo e a porosidade total segundo Embrapa (2011).

A determinação da resistência do solo à penetração foi realizada com a utilização de um penetrômetro de impacto modelo Stolf de cone de ponta fina (30°) (STOLF *et al.*, 1983). Foram tomadas as leituras em dois pontos em quatro profundidades, de 0,70 m em cada talhão, coletando também amostra de solo para determinação da umidade do solo segundo Embrapa (2011). Os dados obtidos no campo na unidade de impactos/decímetro foram transformados em MPa, conforme descrito por Stolf (1991).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, baseado no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme a Lei de Stokes, utilizando-se como dispersante químico o hidróxido de sódio (EMBRAPA, 2011) (Quadro 1).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Além disso, para verificar relações entre algumas variáveis, foi realizada complementarmente correlação linear de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 2, pode-se verificar que a densidade do solo (Ds), o volume total de poros (VTP) e a macroporosidade (MACRO) apresentaram diferença significativa entre os pontos estudados P1 (linha do cafeeiro) e P2 (entrelinha do cafeeiro) nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m com maior volume total de poros e macroporos para

o ponto P1 e uma maior densidade do solo para o ponto P2, nessas mesmas camadas, não diferindo estatisticamente para as demais camadas estudadas. O volume total de poros apresentou comportamento inverso à densidade do solo (Quadro 2), observando relação entre a estrutura do solo e distribuição de poros. Bavoso *et al.* (2010) afirmam que a mobilização do solo de textura argilosa através de subsoladores, aeradores e arado altera a estrutura por meio da quebra nas ligações entre agregados e expõe o solo a secagem e umedecimento, contribuindo para os mecanismos que promovem o arranjo de fendas e microfendas, definindo as zonas de fraqueza na estrutura do solo. As quebras desses agregados resultam na alteração na distribuição da porosidade do solo.

Houve aumento da microporosidade em profundidade, com diminuição da macroporosidade proporcionada pelo aumento da densidade do solo, comprovando que no processo de compactação ocorre a transformação de macro em microporos, resultados que se assemelham com Souza *et al.* (2010) trabalhando com soja em Latossolo Vermelho submetidos a dois sistema de manejos, plantio convencional e plantio direto, porém não apresentou diferença estatística entre os pontos estudados (Quadro 2). Esses mesmo resultados são confirmados também quando se analisa cada talhão e profundidade (Quadro 3).

Os atributos físicos do solo (Quadro 4) não apresentaram diferença significativa entre os talhões com diferentes idades do preparo inicial, confirmando a homogeneidade original do solo entre os talhões da área estudada. Jorge *et al.* (2012), trabalhando com nove tipos de manejo do solo, em Latossolo Vermelho, constataram que os atributos físicos foram alterados em função do tipo de uso/manejo e época de amostragem, em geral, com efeitos negativos em função do tempo de uso agrícola, diferentemente dos resultados obtidos neste trabalho.

Comparando os pontos dentro de cada talhão, apenas o talhão com 7 anos de idades (T7) apresentou diferença estatística para densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP) e

Quadro 2. Densidade do solo, volume total de poros, microporosidade e macroporosidade, determinados na linha (P1) e na entrelinha (P2), em quatro profundidades de amostragem, na média de três talhões do cafezal Conilon

Profundidade (m)	Densidade do Solo (g cm ⁻³)	
	P1	P2
0,00-0,20	1,40 Cb	1,60 Aa
0,20-0,40	1,49 BCb	1,67 Aa
0,40-0,60	1,61 ABa	1,62 Aa
0,60-0,70	1,66 Aa	1,68 Aa
	Volume Total de Poros (m ³ m ⁻³)	
0,00-0,20	46,51 Aa	39,84 Ab
0,20-0,40	46,66 Aa	39,22 Ab
0,40-0,60	42,43 ABa	40,54 Aa
0,60-0,70	39,64 Ba	42,98 Aa
	Macroporos (m ³ m ⁻³)	
0,00-0,20	25,36 Aa	21,34 Aa
0,20-0,40	23,82 ABa	16,17 ABb
0,40-0,60	15,73 BCa	12,84 ABa
0,60-0,70	10,27 Ca	11,38 Ba
	Microporos (m ³ m ⁻³)	
0,00-0,20	21,15 Ba	18,50 Ca
0,20-0,40	22,84 ABa	23,05 BCa
0,40-0,60	26,70 ABa	27,69 ABa
0,60-0,70	29,37 Aa	31,60 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação (CV%) da Ds, VTP, MACRO e MICRO, 4,35 %, 6,06%, 26,33 % e 14,17%, respectivamente.

macroporosidade (MACRO), mostrando que essas propriedades foram inferiores estatisticamente a entrelinha do cafezal. Sendo que o ponto P1, onde ocorreu a subsolagem, apresentou maiores médias apesar de não significativo para essas propriedades nos demais talhões (Quadro4). Nacif *et al.* (2008), trabalhando com Latossolo Amarelo em região de Tabuleiros Costeiros, onde apresentam uma camada coesa superficial, encontram resultados semelhantes, avaliando as consequências da

subsolagem no atributos físicos do solo.

O volume total de poros apresentou uma correlação inversa entre os pontos para microporosidade, sendo que em P1 apresentou-se negativa ($r = -0,49$) e positiva ($r = 0,47$) para P2. Esse resultado mostra que a volume total de poros no P2 está relacionado à microporosidade, efeito esse da compactação do solo nesse ponto, não apresentando correlação significativa para macroporosidade do solo (Figura 1). O P1

Quadro 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MICRO) e macroporosidade (MACRO), determinados na linha (P1) e na entrelinha (P2), em quatro camadas de amostragem, em três talhões de produção de café Conilon, T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos)

Talhão	Profundidade (m)	Atributos Físicos do solo											
		Ds (g cm ⁻³)		PT (m ³ m ⁻³)		MACRO (m ³ m ⁻³)				MICRO (m ³ m ⁻³)			
		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2		
T11	0,00-0,20	1,36 Bb	1,53 Aa	43,85 Aa	40,32 Aa	19,83 Ba	22,42 Aa	24,02 Ba	17,90 Bb				
	0,20-0,40	1,51 Ba	1,61 Aa	44,68 Aa	39,75 Ab	20,21 Ba	17,35 Aa	24,47 Ba	22,40 Ba				
	0,40-0,60	1,72 Aa	1,60 Aa	38,41 Ba	39,62 Aa	9,06 Ca	11,54 Ba	29,34 Aa	28,08 Aa				
	0,60-0,70	1,66 Aa	1,66 Aa	39,21 Ba	40,93 Aa	9,51 Ca	11,38 Ba	29,70 Aa	29,54 Aa				
T7	0,00-0,20	1,38 Bb	1,60 Aa	48,84 Aa	36,65 Ab	28,52 Aa	18,72 Ab	20,31 Ba	17,93 Ba				
	0,20-0,40	1,39 Bb	1,67 Aa	48,13 Aa	39,24 Ab	28,53 Aa	15,78 Bb	19,59 Ba	23,46 Ba				
	0,40-0,60	1,46 Bb	1,67 Aa	47,14 Aa	40,81 Ab	23,67 Ba	12,73 Bb	23,46 Ba	28,07 Aa				
	0,60-0,70	1,66 Aa	1,62 Aa	39,09 Bb	46,41 Aa	10,72 Ca	12,30 Ba	28,36 Aa	34,11 Aa				
T3	0,00-0,20	1,45 Bb	1,67 Aa	46,85 Aa	42,56 Aa	27,73 Aa	22,83 Aa	19,11 Ba	19,68 Ba				
	0,20-0,40	1,58 Ab	1,72 Aa	47,17 Aa	38,67 Ab	22,71 Ba	15,38 Bb	24,46 Ba	23,29 Ba				
	0,40-0,60	1,66 Aa	1,60 Aa	41,76 Ba	41,19 Aa	14,45 Ca	14,26 Ba	27,31 Aa	26,92 Aa				
	0,60-0,70	1,67 Aa	1,75 Aa	40,63 Ba	41,61 Aa	10,57 Ca	10,46 Ba	30,05 Aa	31,15 Aa				

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Coefficiente de variação (CV%) da Densidade do solo, Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade, 4,35%, 6,06%, 26,33% e 14,17%, respectivamente.

Quadro 4. Densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), microporosidade (MICRO) e macroporosidade (MACRO) determinados na linha (P1) e na entrelinha (P2), em três talhões do cafezal Conilon, T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos)

Talhão	Densidade do Solo (g cm ³)	
	P1	P2
T11	1,56 Aa	1,60 Aa
T7	1,47 Ab	1,64 Aa
T3	1,59 Aa	1,68 Aa
Volume Total de Poros (m ³ m ⁻³)		
T11	41,54 Aa	40,15 Aa
T7	45,80 Aa	40,78 Ab
T3	44,10 Aa	41,00 Aa
Macroporos (m ³ m ⁻³)		
T11	14,65 Aa	15,67 Aa
T7	22,86 Aa	14,88 Ab
T3	18,86 Aa	15,74 Aa
Microporos (m ³ m ⁻³)		
T11	26,88 Aa	24,48 Aa
T7	22,93 Aa	25,89 Aa
T3	25,23 Aa	25,26 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação (CV%) da Ds, VTP, MACRO e MICRO, 4,35 %, 6,06%, 26,33 % e 14,17%, respectivamente.

apresentou alta correlação ($r = 0,87$) com a macroporosidade do solo (Figura 1), mostrando o efeito da subsolagem nesse ponto. Medeiros *et al.* (2013) verificaram que a subsolagem realizada nas entrelinhas das plantas do pomar de citros modificou as propriedades físicas e hídricas do solo, refletindo em aumento da macroporosidade e condutividade hidráulica não saturada e redução da densidade do solo, do grau de compactação e da resistência à penetração.

Parente e Maia (2011) relatam tendência de que com o aumento da densidade do solo, ocorra diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como o conseqüente aumento da microporosidade

e da resistência mecânica à penetração do solo.

A resistência do solo a penetração apresentou (Quadro 5) valores menores em P1 comparado ao P2 para todas as profundidades estudadas diferindo significativamente do mesmo, ocorrendo um aumento da RP à medida que aumenta a profundidade do solo tanto para P1 e P2. A umidade do solo, no momento dos testes de RP, não diferiu estatisticamente para os dois pontos com relação às profundidades estudadas, com maiores médias para as camadas de 0,40-0,70 m no P1 e P2. Entre os pontos, apenas na camada de 0,40-0,60 m ocorreu diferença estatística. Pode-se observar também que tanto a resistência mecânica a penetração como a umidade do solo apresentaram diferença estatística para profundidades.

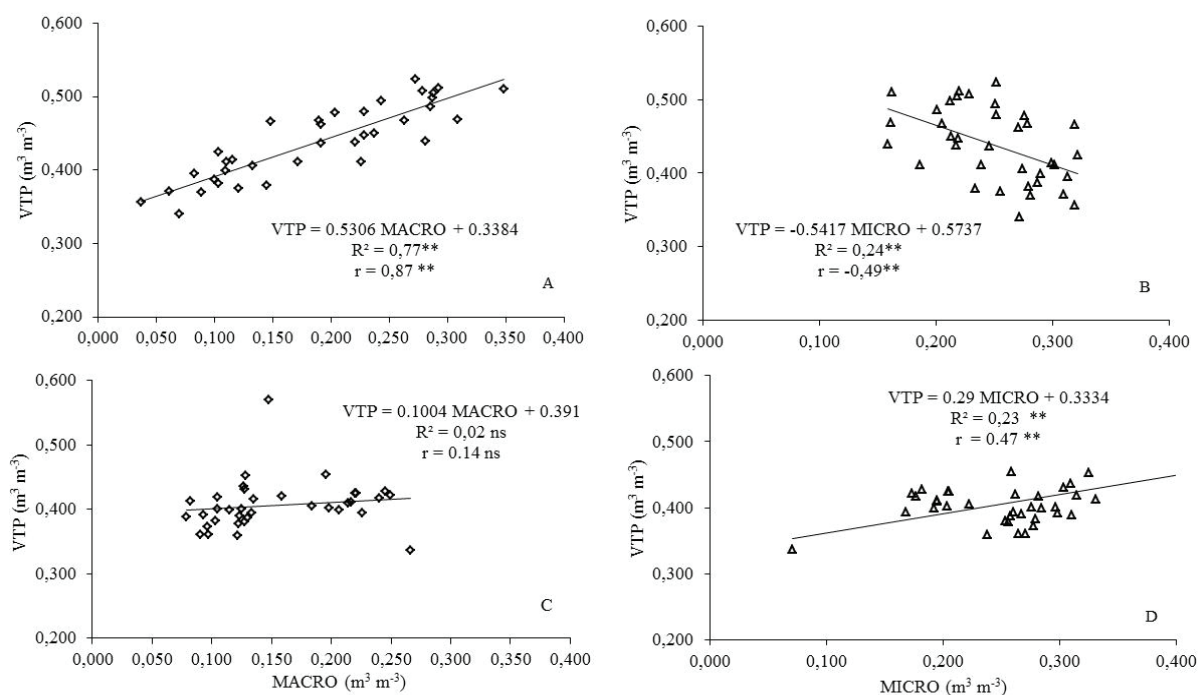


Figura 1. Correlação de Pearson e regressão linear entre volume total de poros (VTP) e macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) no P1(A e B) e P2 (C e D) (r^{***} : Significativo a 1 ou 5% respectivamente pelo t, R^2^{**} : Significativo a 1 %, respectivamente pelo teste de F).

Analisando a resistência mecânica a penetração nos talhões T7 e T3, o P1 apresentou menor resistência em relação ao ponto P2, sendo que a umidade do solo diferiu entre os pontos apenas no talhão T11 (Quadro 6). Já para o P2 a RP e a umidade do solo não apresentaram diferenças estatísticas entre os talhões, exceto para T11 com relação a RP. Os valores do coeficiente de variação (CV) mostraram pouca variabilidade dos dados obtidos, Mion *et al.* (2012) encontraram, trabalhando com um Argiloso amarelo RP nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, um CV médio (48% e 58%). A RP na camada de 0,20-0,30 m apresentou um CV alto (63%), conforme limites propostos por Warrick e Nielsen (1980), para classificação de atributos do solo, resultado que diferem desse trabalho com 15% de coeficiente de variação.

Santos *et al.* (2012) encontraram valores de CV de 51,68% para variável resistência do solo à penetração das raízes, considerada de média variabilidade. Guedes Filho *et al.* (2010) encontraram valores de CV de 44,92% para a RP em Latossolo Vermelho, avaliada na profundidade

de 0,00-0,20 m, mostrando assim a baixa variabilidade dos dados nesse trabalho.

Independente do talhão, a camada de 0,00 a 0,20 m apresentou valores estatisticamente inferior à 2,0 MPa (Quadro 7), considerado como fator limitante para o desenvolvimento radicular, segundo Senra *et al.* (2007). Para camada de 0,20-0,40 m os valores de RP foram menores que 2,5 MPa, exceto para o T7, valor esse considerado como o máximo para desenvolvimento das culturas segundo Unger e Kaspar (1994), já Hamza e Anderson (2005) relatam valores de 2,5 a 3,0 MPa.

Esses resultados demonstram que a subsolagem foi efetiva até a profundidade de 0,40 m, proporcionando uma melhoria para o desenvolvimento radicular, já que, segundo Partelli *et al.* (2006), a maior concentração de raízes (comprimento e área superficial por volume de solo) da espécie propagada via seminal ou estaquia encontra-se na camada superficial, com aproximadamente 50% na camada de 0,00-0,10 m e mais de 65% na camada de 0,00-0,20 m de solo, ficando menos de 30% para as camada de 0,20-0,60 m.

Quadro 5. Resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo, determinadas na linha (P1) e na entrelinha (P2), em quatro profundidades de amostragem, na média de três talhões de cafezal Conilon

Profundidade (m)	RP (MPa)	
	P1	P2
0,00-0,20	1,54 Cb	3,77 Ca
0,20-0,40	2,60 BCb	8,91 Ba
0,40-0,60	4,42 Bb	10,88 ABa
0,60-0,70	8,07 Ab	13,09 Aa
Umidade do solo (cm ³ cm ⁻³)		
0,00-0,20	0,165 Ca	0,176 Ca
0,20-0,40	0,264 Ba	0,247 Ba
0,40-0,60	0,286 ABa	0,259 ABb
0,60-0,70	0,293 Aa	0,280 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação (CV%) da RP e umidade do solo 15,41% e 5,08 %, respectivamente.

Quadro 6. Resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo, determinadas na linha (P1) e na entrelinha (P2), em três talhões de cafezal Conilon, T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos)

Talhão	RP (MPa)	
	P1	P2
T11	3,05 Ab	7,04 Ba
T7	4,90 Ab	10,29 Aa
T3	4,51 Ab	10,15 Aa
Umidade do solo (cm ³ cm ⁻³)		
T11	0,253 Aa	0,232 Ab
T7	0,245 Aa	0,244 Aa
T3	0,257 Aa	0,243 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação (CV%) da RP e umidade do solo 15,41% e 5,08 %, respectivamente.

Silva e Martins (2010), trabalhando com atributos físicos do solo de cafezal Conilon, também verificaram que as raízes se concentram na faixa mais superficial do solo, diminuindo em profundidade à medida que se aproximam

da profundidade de 0,40 m. Embora os trabalhos anteriores mostrem uma tendência de concentração de raízes nas camadas mais superficiais do solo, um aprofundamento desse sistema radicular irá possibilitar um aumento da capacidade de utilização

da água armazenada no solo, reduzindo os riscos do estresse hídrico em razão da interrupção das irrigações, ou mesmo de um maior intervalo entre chuvas.

Foi observada correlação positiva ($r = 0,45$) entre RP e Ds e também ($r = 0,49$) entre RP e MICRO para o P1 (Figura 2). Neste mesmo ponto, observou-se uma correlação negativa ($r = -0,52$) com MACRO. Utilizando-se valores limites de MACRO de $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na equação de regressão, obtém-se valor de RP igual a 10,86 Mpa. Esse valor representa uma Ds de $1,70 \text{ g cm}^{-3}$, sendo que valores superiores a esse dificultaria a aeração das plantas para o P1, limite esse superior ao proposto por Matiello *et al.* (2002). Os autores supracitados afirmam que, devido ao cafeeiro Conilon apresentar raízes mais vigorosas, a densidade do solo crítica para o desenvolvimento radicular está em torno de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$. Segundo os autores, as raízes de

cafeeiro Conilon só não são capazes de romper solos com densidade acima de $1,80 \text{ g cm}^{-3}$.

Uma correlação positiva foi encontrada com a MICRO ($r = 0,69$) devido à compactação do solo que altera a distribuição das partículas, resultando no seu acondicionamento, ou seja, aproximando-as e incrementando a presença de poros de tamanho menor (Figura 1).

O VTP apresentou correlação inversa entre o P1 e P2, sendo negativa ($r = -0,41$), e positiva ($r = 0,40$), respectivamente (Figuras 2 e 3). Esse resultado de P2 pode ser explicado, já que o VTP em P2 apresenta uma correlação positiva com a microporosidade (Figura 5), fazendo com que o aumento de VTP nesse ponto aumente a RP, mostrando que as práticas de manejo da cultura na entrelinhas do cafezal, associado ao tráfego de máquinas e implementos por bitolas diferenciada, proporciona compactação da superfície numa maior dimensão de área.

Quadro 7. Resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo determinados na linha (P1) e na entrelinha (P2), em quatro profundidades de amostragem, em três talhões de cafezal Conilon, T11 (11 anos), T7 (7 anos) e T3 (3 anos)

Talhão	Profundidade (m)	RP (Mpa)		Umidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	
		P1	P2	P1	P2
T11	0,00-0,20	1,34Da	3,05Fa	0,158Da	0,165Da
	0,20-0,40	2,03CDB	7,73DEa	0,264BCa	0,234Cb
	0,40-0,60	3,97BCDB	8,41CDa	0,301Aa	0,251ABCb
	0,60-0,70	4,88BCb	8,98CDa	0,288ABa	0,278ABa
T7	0,00-0,20	1,80Da	3,51Fa	0,168Da	0,181Da
	0,20-0,40	3,74BCDB	9,78CDa	0,251Ca	0,249BCa
	0,40-0,60	4,19BCDB	12,97ABa	0,264BCa	0,271ABa
	0,60-0,70	9,89Ab	14,91Aa	0,297ABa	0,276ABb
T3	0,00-0,20	1,45Db	4,77EFa	0,168Da	0,180Da
	0,20-0,40	2,03CDB	9,21CDa	0,275ABCa	0,254ABCb
	0,40-0,60	5,11Bb	11,26BCa	0,291ABa	0,254ABCb
	0,60-0,70	9,44Ab	15,37Aa	0,293ABa	0,286Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação (CV%) da RP e umidade do solo 15,41% e 5,08 %, respectivamente.

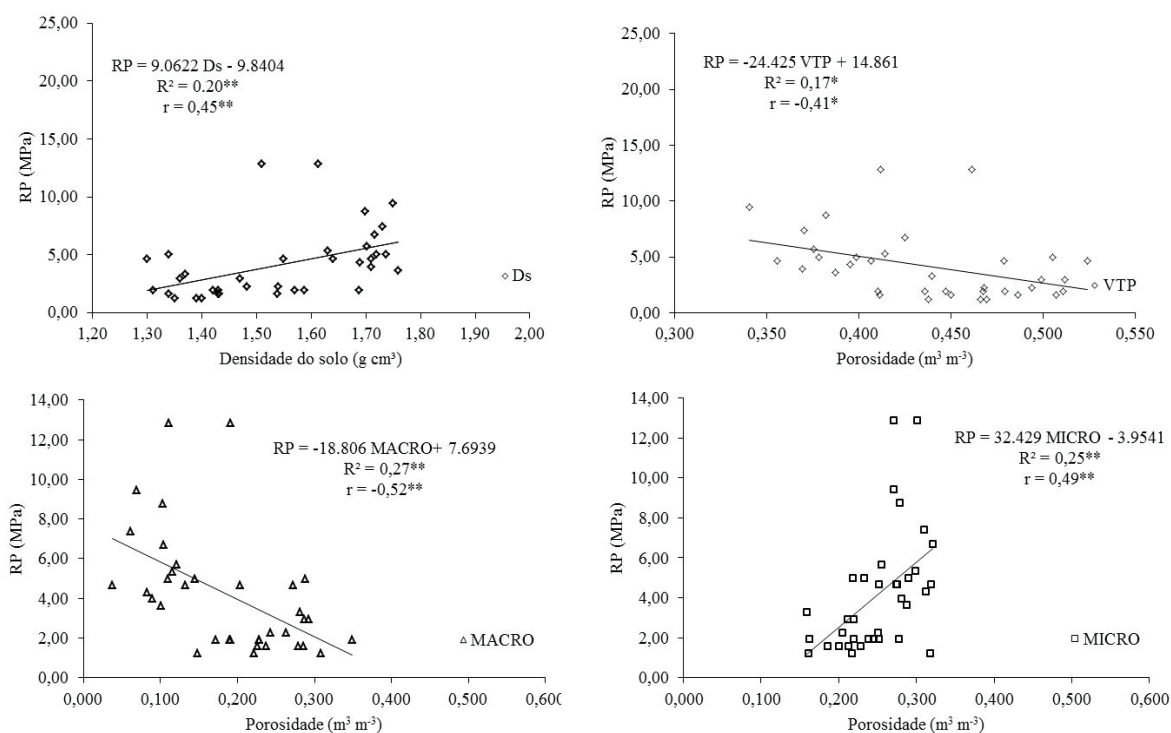


Figura 2. Correlação de Pearson entre resistência à penetração do solo (RP) com atributos físicos do solo no P1. (r ** * : Significativo a 1 ou 5% respectivamente pelo teste t, R² ** * : Significativo a 1 ou 5%, respectivamente, pelo teste F).

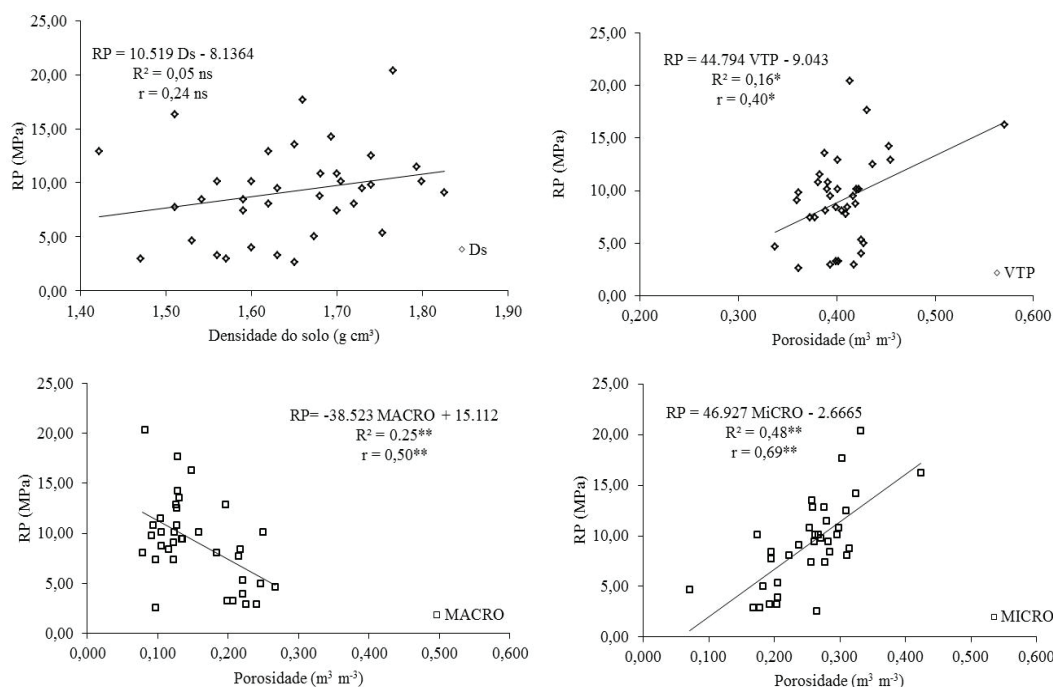


Figura 3. Correlação de Pearson entre resistência à penetração do solo (RP) com atributos físicos do solo no P2. (r ** * : Significativo a 1 ou 5% respectivamente pelo teste t, R² ** * : Significativo a 1 ou 5%, respectivamente, pelo teste F).

CONCLUSÕES

- A subsolagem alterou os atributos do solo, diminuindo densidade do solo e aumentando o volume total de poros, não ocorrendo efeito ao longo do tempo na linha de plantio do cafezal;
- A subsolagem efetiva foi até a camada de 0,40 m, com seus efeitos benéficos mantidos ao longo de vários anos;
- A subsolagem reduziu a resistência à penetração na linha do cafeeiro, que correlacionou-se positivamente com densidade e microporosidade e negativamente com macroporosidade e volume total de poros.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO-JÚNIOR, C.F.; DIAS JÚNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALCÂNTARA, E.N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.115-131, 2011.
- BAVOSO, M.A.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.235-244, 2010.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A. & SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.681-691, 2010.
- CORTEZ, J.W.; SILVA ALVES, A.L.; MOURA, M.R.D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H.J. Atributos físicos do argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1207-1216, 2011.
- EMPRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2006. 306p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2011. 230p.
- GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S.R.; CHIBA, M.K.; NAGUMO, C.H.; DECHEN, C.F. Spatial and temporal variability of crop yield and some rhodic hapludox properties under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.1-14, 2010.
- HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam v.82, p.121-145, 2005.
- IJSN. **Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo**. Vitória, ES, 2012. 19f.: il. (Nota técnica, 28).
- JORGE, R.F.; ALMEIDA, C.X.; BORGES, E.N.; PASSOS, R.R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.159-169, 2012.
- LANI, J.A.; BRAGANÇA, S.M.; PREZOTTI, L.C.; MARTINS, A.G.; DADALTO, G.G. IN: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNNER, L.H. (Eds.). Preparo, manejo e conservação do solo. 1.ed. **Café Conilon**: Vitória, 2007, p.281-293.
- MAGALHÃES, W.A.; CREMON, C.; MAPELI, N.C.; SILVA, W.M.; CARVALHO, J.M.; MOTA, M.S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v.2, n.6, p.21-32, 2009.
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.A.; FERNANDES, D.R. **Cultura do Café no Brasil: Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: Fundação Procafé, 2010. 542p.
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2002. 387p.
- MEDEIROS, J.C.; COUTINHO, F.G.; MAFRA, Á.L.; DALLA R.J.; WON, Y.S. Deep subsoiling of a subsurface-compacted typical hapludult under citrus orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.4, p.911-919, 2013.
- MION, R.L.; NASCIMENTO, E.M.S.; LIMA SALES, F.A.; SILVA, S.F.; DUARTE, J.M.L.; SOUSA, B.M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração

de um Argissolo Amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.6, p.2057-2066, 2012.

MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M.; KER, J.C.; GOMES, F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p.1021-1030, 2006.

NACIF, P.G.S.; REZENDE, J.O.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M.; COSTA, O.V. Efeitos da subsolagem em propriedades físico-hídricas de um Latossolo amarelo distrocoeso do Estado da Bahia. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v.20, n.2, p.186-192, 2008.

PARENTE, H.N.; MAIA, M.O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos a com ênfase no semiárido. **Revista Trópica**, Chapadinha, v.5, n.3, p.3-15, 2011.

PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; SANTIAGO, A.R.; BARROSO, D.G. Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.949-954, 2006.

RIBEIRO, M.A.V.; NOVAIS, R.N.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M.M.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M.; VILLANI, E.M.A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p.1157-1164, 2010.

RICHART, A.; FILHA, J.T.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n.3, p.321-344, 2005.

SANTOS, K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; ALMEIDA, B.G.; MONTENEGRO, S.M. G.L.; ANDRADE, T.S.; FONTES JÚNIOR, R.V.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Viçosa, v.16, n.8, p.828-835, 2012.

SENRA, A.F.; LOUZADA, R.O.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; VICTOR, D.M. Resistência à penetração em "Latossolo Vermelho" sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, La Havana, v.16, n.1, 2007.

SERAFIM, M.E.; OLIVEIRA, G.C.; OLIVEIRA,

A.S.; LIMA, J.M.; GUIMARÃES, P.T.; COSTA, J.C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.964-977, 2011.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P.; BENITES, V.M.; FERREIRA FILHO, S.M. Structural changes in Latosols of the Cerrado region: ii – soil compressive behavior and modeling of additional compaction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p.783-791, 2011.

SILVA, V.L.B.; MARTINS, P.F.S. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade Conilon, sob diferentes espaçamentos. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.53, n.1, p.96-101, 2010.

SOUZA, F.R. S.; JUNIOR, E.J.R.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; VENTUROSO, L.R.; ROSA, Y.B.C.J. Atributos físicos e desempenho agrônomico da cultura da soja em um latossolo vermelho distroférico submetido a dois sistemas de manejos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.6, p.1357-1364, 2010.

SCHIAVO, J.A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.3, p.406-412, 2012.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.3, p.18-23, 1983.

UNDER, P.W.; KASPAR, T. soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.759-766, 1994.

VITÓRIA, E.L.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; LACERDA, E.G. Correlação linear e espacial entre produtividade de *Brachiaria brizantha*, densidade do solo e porosidade total em função do sistema de manejo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.909-919, 2012.