

# EFEITOS DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁRVORES SOBRE ATRIBUTOS DO SOLO EM CAFEIEIRO SOMBREADO

Kátia Priscilla Gomes Morinigo<sup>1</sup>, Nathalia de França Guimarães<sup>2</sup>, Rubismar Stolf<sup>3</sup>,  
Adriana Cavalieri Sais<sup>4</sup>, Maicon Douglas Bispo de Souza<sup>5</sup>, Anderson de Souza Gallo<sup>6</sup>,  
Anastacia Fontanetti<sup>7</sup>

(Recebido: 21 de novembro de 2016; aceito: 08 de março de 2017)

**RESUMO:** Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da distribuição espacial de árvores (*Anadenanthera falcata*, *Albizia polycephala* e *Cassia grandis*) em cultivo de café sombreado (*Coffea arabica* cv. *Obatã*), sobre a resistência mecânica, umidade e propriedades químicas do solo. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 4x2. O primeiro fator foi a localização dos pontos de amostragem do solo no cafezal sombreado, determinados por dois pontos na mesma linha de plantio das árvores (D1L - um metro de distância do tronco da árvore e D6L - seis metros de distância do tronco da árvore) e dois pontos paralelos a esses localizados na entrelinha de plantio das árvores (D1E e D6E). O segundo fator foi a profundidade de coleta do solo: 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. As maiores resistências mecânicas do solo à penetração foram observadas nos pontos D1L e D1E, com 8,89 Mpa e 6,55 Mpa, respectivamente. O menor valor de pH (4,62) e o maior teor de alumínio no solo (4,95 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foram encontrados na linha de plantio das árvores, no ponto D1L. A distribuição espacial das árvores não alterou a umidade do solo, variando entre 0,11 e 0,14 kg kg<sup>-1</sup> e os teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, os quais se mantiveram dentro das faixas consideradas adequadas para o cultivo do café. Conclui-se que as árvores avaliadas elevam a resistência do solo à penetração e provavelmente exercem maior competição por nutrientes com o café, aumentando o pH e os teores de Al do solo, quando localizadas no ponto D1L, possivelmente, em função da distribuição e concentração das raízes das mesmas. Contudo, a distribuição das árvores não influenciou a umidade e os teores de matéria orgânica, P, K e Ca do solo.

**Termos de indexação:** *Coffea arabica*, espécies arbóreas, resistência mecânica do solo a penetração, umidade do solo, fertilidade do solo.

## EFFECTS OF TREES DISTRIBUTION IN SOIL ATTRIBUTES IN SHADED COFFEE

**ABSTRACT:** The objective in this work was to evaluate the effect of spatial distribution of tree species (*Anadenanthera falcata*, *Albizia polycephala* e *Cassia grandis*) on shaded coffee plants (*Coffea arabica* cv. *Obatã*), to mechanical strength, moisture and chemical characteristics of the soil. The experimental design was randomized block with four replicates in a 4x2 factorial scheme. The first factor the location of soil sampling on the shaded coffee plantation, determined by two points in the trees planting rows (D1L distancing one meter from the tree trunk and D6L distancing six meters from the tree trunks) and two point, parallel to those, in the inter row (D1E and D6E). The second factor was the soil sampling depth: 0.00-0.20 and 0.20-0.40 meters. The soil largest mechanical resistances were found in D1L and D1E, with 8.889 Mpa and 6.55 Mpa, respectively. The soil lowest pH values (4.62) and greatest aluminum contents (4.95 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) were found in the trees planting rows at D1L. Trees spatial distribution did not affected soil moisture, that varied from 0.11 to 0.14 kg kg<sup>-1</sup> or soils contents of organic matter as well as sums of phosphor, potassium, calcium or magnesium, that were within proper level to coffee plants cropping. In conclusion, the evaluated trees raised soil resistance to penetration and probable exert great competition for nutrients with the coffee trees, increasing soil pH values and aluminum contents, when located at D1L, possibly, due roots distribution and concentration of these tree species. However, trees distribution did not affected soil moisture, its organic matter contents or P, K and Ca sums.

**Index terms:** *Coffea arabica*, tree species, Soil mechanical resistance to penetration, soil moisture, soil fertility.

## 1 INTRODUÇÃO

Embora a arborização dos cafeeiros seja uma prática antiga na América Latina (JARAMILLO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2006), atualmente no Brasil o café é cultivado predominantemente a pleno sol e com maior densidade de plantas por

área (DAMATTA et al., 2007; GUARÇONI, 2011), pois, algumas experiências já conduzidas com cafeeiros arborizados, culminaram em perda de produtividade como mencionado por outros autores (ARAÚJO et al., 2016; SOUZA; GRAAFF; PULLEMAN, 2012).

A distribuição espacial das espécies arbóreas e dos cafeeiros no sistema pode definir

<sup>1,3,4,5,7</sup>Universidade Federal de São Carlos/UFSCar - Centro de Ciências Agrárias/CCA - Programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural - Rodovia Ananaguera, Km 174 - Cx. P. 153 - 13.560-970 - Araras - SP - katia\_morinigo@hotmail.com, rubismar@cca.ufscar.br, adrianacs@cca.ufscar.br, maicondbis@outlook.com, anastacia@cca.ufscar.br

<sup>2,6</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ - Programa de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do Solo Rodovia BR 465, Km 07, s/n - Zona Rural - 23.890-000 - Seropédica - RJ - n.fguimaraes@hotmail.com, andersondsgallo@hotmail.com

o sucesso do consórcio (JARAMILLO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2006). Os efeitos da arborização variam em função da altitude, da radiação fotossintética ativa, da fertilidade do solo e das espécies arbóreas utilizadas (RICCI; CONCHETO JUNIOR; ALMEIDA, 2013).

Sistemas arborizados contribuem diretamente para o aumento da umidade do ar; menor amplitude térmica; alteração na quantidade e qualidade da radiação solar; redução da velocidade do vento e manutenção ou aumento da umidade do solo (MORAIS et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2006), com implicações indiretas sobre as características químicas, físicas e biológicas do solo, e sobre os aspectos ecofisiológicos do cafeeiro (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010). Estudos já demonstraram a influência da arborização em cafeeiros sobre a resistência do solo à penetração e densidade do solo a diferentes profundidades (CHAGAS et al., 2009; PEQUENO et al., 2011) e teores de matéria orgânica e fertilidade (CAMPANHA et al., 2007; SALGADO et al., 2006), mas os resultados na literatura são controversos.

Chagas et al. (2009), avaliando a resistência do solo à penetração, no cultivo de cafeeiro arborizado, verificaram efeitos distintos entre as espécies arbóreas avaliadas. O cafeeiro arborizado com macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), tanto na linha quanto na entrelinha, apresentou menor resistência à penetração que o cultivo a pleno sol. Os autores atribuíram o resultado à menor proteção do solo promovido pelo cultivo exclusivo do cafeeiro, que favoreceu o encrostamento superficial. No entanto, comparando a resistência do solo à penetração no cafeeiro arborizado com coqueiro-anão (*Cocos nucifera* L.) com o cafeeiro cultivado a pleno sol, os mesmos autores observaram menor resistência à penetração no cultivo a pleno sol, fato atribuído ao menor teor de água no solo do tratamento arborizado. Já Pequeno et al. (2011) verificaram que a maior diversidade de espécies arbóreas no cafeeiro sombreado reduz a densidade do solo na profundidade de 0-10 cm, porém, aumenta a densidade do solo na profundidade de 10-20 cm, ou seja, a diversificação de plantas na arborização do cafeeiro é mais eficiente para promover o aumento do espaço poroso do solo na profundidade 0-10 cm.

Machado et al. (2014), ao avaliarem a densidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em diferentes sistemas de manejo da

lavoura cafeeira, em duas profundidades (0-5 cm e 0-10 cm), não observaram diferença entre o solo do cultivo de café arborizado com espécies frutíferas (*Musa* spp. e *Citrus* spp.) e o cafeeiro a pleno sol. Contudo, ambos os tratamentos apresentaram valores de densidade do solo maiores em relação à área de floresta nativa.

Em relação aos efeitos do sombreamento sobre as propriedades químicas do solo, os resultados na literatura são controversos. Salgado et al. (2006), estudando cafeeiros sombreados com Ingazeiro (*Inga edulis* Mart.) e Grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R.Br.) constataram que as espécies não contribuíram para o aumento da matéria orgânica, e, os melhores resultados nas características químicas do solo foram observados no cultivo do cafeeiro a pleno sol, de acordo com os autores, devido à demanda nutricional das espécies arbóreas. Já Campanha et al. (2007) verificaram melhores condições de fertilidade do solo quanto às características Al, Ca, Mg, CTC, SB, Zn e Cu no sistema sombreado e, de P e matéria orgânica no cultivo a pleno sol.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da distribuição espacial de árvores em cultivo de cafeeiro sombreado, sobre a resistência mecânica, umidade do solo e propriedades químicas do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Retiro Santo Antônio, localizada no município de Santo Antônio do Jardim, estado de São Paulo (22°06'S e 46°40' W, 850 m de altitude). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cwb, caracterizado pela ocorrência de verões com temperaturas amenas para as regiões serranas limítrofes com o estado de Minas Gerais. Os dados climáticos durante a condução do experimento estão sumarizados na Tabela 1.

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2013), cuja composição granulométrica encontra-se na Tabela 2.

A lavoura cafeeira avaliada, cv. *Obatã*, foi implantada no ano de 2007, no espaçamento de 3,5 m entrelinha e 0,80 m entre plantas (3.571 plantas ha<sup>-1</sup>), cultivada em consórcio com quatro espécies de árvores da família Fabaceae: *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg. (Angico do cerrado); *Albizia polycephala* (Benth.) Killip (Angico branco) e *Cassia grandis* L.f. (Cassia rosa), implantadas no ano de 2009, com espaçamento de 14 x 16 (densidade de 44 plantas ha<sup>-1</sup>), distribuídas na área de acordo com a Figura 1.

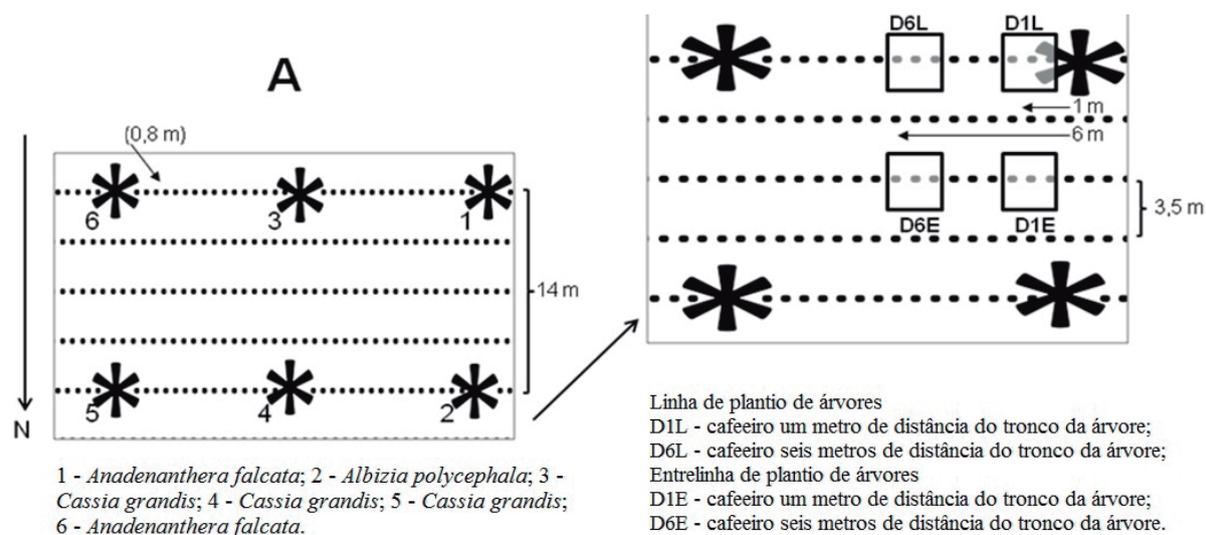
**TABELA 1** - Precipitação pluviométrica total, temperatura mínima, máxima e média no mês, umidade relativa do ar mínima, máxima e média no mês.

Meses	Precipitação mm	Temperatura °C			Umidade do ar %		
		Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
Março	475	18,1	26,6	24,1	87	98	87
Abril	165	17,5	27,2	22,3	70	93	92
Mai	123	14,6	23,1	22,3	88	98	81

Fonte: Estação meteorológica da Fazenda Retiro Santo Antônio (2015).

**TABELA 2** - Composição granulométrica de um Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com cafeeiro arborizado.

Profundidades m	Frações granulométricas			Classe textural
	Argila	Silte	Areia	
	-----dag kg <sup>-1</sup> -----			
0,0-0,10	25,10	18	56,90	Franco Siltosa
0,10-0,20	30,57	21,08	48,34	Franco Argilosa
0,20-0,40	21,05	42,75	36,20	Franca
0,40-0,60	20,04	37,90	42,06	Franca

**FIGURA 1** - Representação esquemática da área de cafeeiro sombreado (A); detalhamento dos pontos amostrais (B). Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

A adubação do cafeeiro foi realizada com base na análise química do solo, conforme recomendado por Raij et al. (1996). Foi feita aplicação de uréia protegida, três vezes ao ano, na dose de 50 g/planta, sendo as aplicações mais recentes em novembro e dezembro de 2014 e fevereiro de 2015; cloreto de potássio foi aplicado

duas vezes ao ano (dose de 10 g/planta), sendo a última aplicação realizada em fevereiro de 2015; cama de frango e palha de café, aplicadas uma vez ao ano, na dose de 1 kg por planta e a última aplicação foi realizada em outubro de 2014. Não foram realizadas adubações com fósforo e boro no ano desse experimento. Os

tratos culturais como adubação, capina, arruação e colheita são realizados com máquinas na área de cultivo. Em outubro de 2013 (dezesete meses antes da realização deste experimento) foi utilizado o subsolador na estrelinha do cafezal, a aproximadamente 1,75 m da linha de plantio do cafeeiro. O subsolador atinge a profundidade de 40 a 50 cm do solo e o implemento é elevado quando se aproxima das raízes das espécies arbóreas.

## 2.2 Tratamentos e Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 4x2. O primeiro fator foi a localização dos pontos de amostragem do solo no cafezal sombreado, determinados por dois pontos na mesma linha de plantio das árvores (D1L-um metro de distância do tronco da árvore e D6L- seis metros de distância do tronco da árvore) e dois pontos paralelos a esses localizados na entrelinha das árvores, distantes sete metros da linha de plantio das mesmas (D1E e D6E) (Figura 1). O segundo fator foi a profundidade de coleta do solo: 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. As parcelas experimentais foram formadas por três plantas de cafeeiro (2,40 m x 3,5 m). Na Figura 1 está representada a área experimental e a distribuição espacial dos pontos de amostragem do solo no cultivo de cafeeiro sombreado.

## 2.3 Avaliações

Os dados foram coletados nos dias 30 de abril e 01 de maio de 2015, ressaltando-se que nos dez dias que antecederam as coletas não houve precipitação pluviométrica.

### 2.3.1 Resistência Mecânica do solo à penetração e Umidade gravimétrica do solo

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (Figura 1) foi realizada na linha de plantio do cafeeiro e na linha de tráfego dos tratamentos citados anteriormente (distante a 1,20 m da linha de plantio, onde ocorre o tráfego dos rodados). Para a avaliação de resistência mecânica do solo à penetração utilizou-se o equipamento Penetrômetro de Impacto, modelo IAA/Planalsucar/Stolf (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1983). A resistência do solo à penetração foi calculada pela equação:  $RP = \{5,6 + (68,9/(P/N))\}/10,2$ ; onde RP = Resistência mecânica do solo à penetração (em MPa); P = profundidade de penetração do penetrômetro (em cm); N = número de impactos (golpes) por camada de solo analisada (STOLF, 1991).

Para a determinação da umidade gravimétrica do solo foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo, utilizando-se trado holandês. As amostras foram realizadas na linha de plantio do cafeeiro e na linha de tráfego dos tratamentos citados acima (distante a 1,20 m da linha de plantio, onde ocorre o tráfego dos rodados). As amostras de solo foram armazenadas em embalagem impermeável, vedadas e identificadas, sendo pesadas em seguida (massa de solo úmido - Mu). Posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e transferidas para a estufa de secagem com circulação de ar na temperatura de 110 °C, por 24 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas novamente para determinação da massa seca (Ms). Para calcular a umidade gravimétrica do solo utilizou a expressão:  $U\% = (Mu - Ms) / Ms * 100$ , onde U = Umidade gravimétrica do solo, %; Mu = Massa de solo úmido, g; Ms = Massa de solo seco em estufa, dada em g (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1999).

### 2.3.3 Avaliação das características químicas do solo

Para as avaliações químicas do solo nos tratamentos foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m sob projeção da copa dos cafeeiros, utilizando-se trado holandês. Para cada tratamento e profundidade foram coletadas quatro amostras compostas, obtidas a partir de três subamostras (com  $\pm$  500 g de solo). Após a coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para análise química em laboratório. As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com os métodos propostos por Raij et al. (2001), onde o pH foi extraído em CaCl<sub>2</sub> e os valores para o P, Ca, Mg e K foram mensurados utilizando resina extratora.

## 2.4 Interpretações dos dados e Análises estatísticas

Para a interpretação dos dados de penetrometria foram empregados os critérios que adotam as seguintes classes de resistência mecânica do solo à penetração: Baixa = 0,1 a 1,0 MPa; Moderada = 1,0 a 2,0 MPa; Alta = 2,0 a 4,0 MPa; Muito alta = 4,0 a 8,0 Mpa; e Extremamente alta = acima de 8,0 Mpa (SOIL SURVEY STAFF, 1993).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo

teste de Tukey, em nível de 5 % de significância. Utilizou-se para as análises estatísticas o software Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016). Os dados de resistência do solo à penetração foram transformados pela equação  $\sqrt{x}$ , para atender às pressuposições da análise de variância, já que não apresentavam homogeneidade de variâncias residuais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Resistências mecânicas à penetração e umidade gravimétrica do solo

A análise de variância (ANOVA) realizada para a variável resistência mecânica do solo à penetração na linha de plantio do cafeeiro revelou efeito significativo isolado para o fator pontos de amostragem do solo (D1L, D6L, D1E e D6E). Já a ANOVA realizada, para a mesma variável, na linha de tráfego do cafezal, demonstrou efeito apenas do fator profundidade do solo.

Na linha de plantio do cafeeiro os maiores valores de resistência à penetração (RP) foram observados nos pontos D1L (mesma linha de plantio das árvores a um metro de distância do tronco) e D1E (localizado na entrelinha das árvores, paralelo ao ponto D1L) (Tabela 3). Na linha do cafeeiro, os pontos D1L e D1E apresentaram valores de RP acima de 3,0 Mpa, considerados restritivos para o desenvolvimento do sistema radicular da maior parte das plantas (HAMZA; ANDERSON, 2005).

A maioria das raízes ativas do cafeeiro concentra-se próximo à projeção da copa (saia do cafeeiro) e a compactação do solo, nesse caso, dificulta o desenvolvimento radicular e conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes e água para a cultura (FERNANDES; SANTINATO; SANTINATO, 2012). De acordo com Reichert, Suzuki e Reinert (2007) entre as principais causas para a compactação do solo em sistemas arborizados estão as raízes das árvores e os veículos utilizados para operações florestais. Os autores destacam que as raízes das árvores podem aproximar as partículas do solo, aumentando a compactação. No presente estudo, o ponto D1L é o mais próximo à árvore, assim uma das prováveis causas para o aumento da RP nesse ponto pode estar relacionada à maior concentração de raízes.

Para a amostragem realizada na linha de tráfego do cafeeiro não se observou efeito dos pontos D1L, D6L, D1E e D6E na RP. Os valores de RP foram, em geral, menores dos que os

observados na linha de plantio do cafeeiro, porém, ainda, dentro da faixa muito alta de compactação (SOIL SURVEY STAFF, 1993). Esse resultado difere do observado por Palma et al. (2013) num solo com classe textural argila arenosa na profundidade de 0,15 m. Os valores de RP foram maiores na linha de tráfego em relação a linha de plantio do cafeeiro. Porém, Lima et al. (2005) observaram maior compactação do solo sob a projeção da copa (linha de plantio), em um pomar de laranja cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa, sendo esse o local mais afetado pelo tráfego de máquinas agrícolas, possivelmente em função da ausência de cobertura vegetal.

No presente estudo, outra possível causa para a menor RP do solo na linha de tráfego do cafeeiro em relação à linha de plantio deve-se à realização da subsolagem na entrelinha de plantio, dezessete meses antes das avaliações. De acordo com Drescher et al. (2016) o efeito da subsolagem na RP de um solo argiloso pode permanecer no mínimo por 18 meses na camada de 0,15 m. Segundo Souza et al. (2014), a adoção da técnica de subsolagem pode minimizar os efeitos da compactação do solo, melhorando assim o ambiente para desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

Para a umidade do solo não houve efeito significativo dos fatores avaliados. Os valores para esta variável situaram entre 0,11 kg kg<sup>-1</sup> (D1L - Linha de cafeeiro) e 0,14 kg kg<sup>-1</sup> (D6E - Linha de tráfego). A RP, além da dependência de fatores intrínsecos do solo (textura, estrutura, mineralogia), é altamente dependente da umidade do solo (GOMES; PEÑA, 1996). Em condição de baixa umidade do solo, a água encontra-se num maior estado de tensão nos poros do solo, além dessa tensão, somam-se as forças de coesão e de adesão já existentes entre os sólidos do solo, resultando em maior resistência à penetração de raízes numa condição de baixa umidade (CUNHA; VIERA; MAGALHÃES, 2002). Na linha de plantio e na linha de tráfego do cafeeiro, independentemente da profundidade, os pontos apresentaram teores de umidade do solo semelhantes (Tabela 3). Ebisa (2014) não encontrou diferenças para o teor de umidade do solo entre os pontos de amostragem, localizados a três, cinco e sete metros de distância dos troncos das árvores, embora a umidade do solo tenha sido superior à do cafeeiro cultivado em sistema a pleno sol.

**TABELA 3** - Resistência à penetração (RP) e umidade gravimétrica do solo, na linha de plantio e na linha de tráfego do cafeeiro arborizado. Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

Tratamentos	Resistência à Penetração e Umidade do solo			
	Linha do cafeeiro		Linha de tráfego	
	RP Mpa	Umidade kg kg <sup>-1</sup>	RP Mpa	Umidade kg kg <sup>-1</sup>
D1L	8,89 a*	0,11 <sup>ns</sup>	5,33 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
D6L	4,84 b	0,13	4,73	0,13
D1E	6,55 ab	0,13	4,13	0,15
D6E	4,71 b	0,13	2,99	0,14
Profundidades				
0,0-0,20	5,79 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	3,19 b**	0,14 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	6,70	0,12	5,40 a	0,13
CV%	19,07	17,85	19,69	15,63

\*significativo em nível de 1%, \*\* 5% de significância e <sup>ns</sup> não significativo, de acordo com o teste F. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5% de significância. D1L= mesma linha de plantio da árvore, distante um metro do tronco; D6L = mesma linha de plantio da árvore, distante seis metros do tronco; D1E = entrelinha da árvore, paralelo ao ponto D1L; D6E = entrelinha da árvore, paralelo ao ponto D6L.

### 3.2 Atributos químicos do solo

A análise de variância não demonstrou efeito significativo dos fatores ponto amostral, profundidade do solo e interação entre ponto amostral x profundidade do solo para as variáveis: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca de cátions (CTC).

Para o pH do solo, observou-se efeito isolado do fator ponto amostral. A maior acidez (menor valor de pH) foi observada no ponto amostral D1L, que não diferiu do ponto D6L (Tabela 4). Salgado et al. (2006) também verificaram pH baixo (4,5 - 5,4) em cafeeiros sombreados com Ingazeiros e valores considerados adequados (5,5 - 6,0) para cafeeiros sombreados com Grevílea e para o solo dos cultivados a pleno sol. No entanto, Tanga, Erenso e Lemma (2014), avaliando o efeito das distâncias da copa (1/3, 2/3, borda da copa e área aberta, sem influência de raízes) de três espécies de árvores (*B. aegyptica*, *A. tortilis*, *A. seyal*) nas propriedades químicas do solo, não observaram efeito desses fatores para o pH.

A redução do pH pode estar relacionada ao maior aporte de resíduos orgânicos, favorecendo a adição de C ao solo na forma de raízes e ácidos orgânicos, oriundos das espécies arbóreas. Quanto maior o conteúdo de carbono, maior tenderá ser a acidez do solo (MACHADO et al., 2014). No entanto, nesse trabalho, o teor de matéria orgânica

do solo foi semelhante entre os pontos amostrais (Tabela 4).

Os baixos valores de pH podem ser explicados por elevados teores de alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), uma vez que, o Al<sup>3+</sup> ao sofrer hidrólise libera H<sup>+</sup> na solução do solo e contribui para o aumento da acidez (FREIRE et al., 2007). No ponto D1L observou-se teor superior de alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), independentemente das profundidades do solo (Tabela 4).

Os resultados para soma de bases no solo e saturação por bases demonstraram que os valores não diferiram entre si estatisticamente (Tabela 4). No entanto, houve tendência de aumento da soma de bases no ponto D1E e de redução da saturação por bases no ponto D1L. O ponto D1E localiza-se na entrelinha das árvores e provavelmente está sob menor influência das mesmas (área das raízes e projeção da copa), fato que sugere menor competição por nutrientes, entre cafeeiros e árvores. Já o ponto D1L é o que está mais próximo das árvores, e provavelmente é o ponto em que há maior extração de nutrientes pela árvore e maior competição entre as espécies arbóreas (*A. falcata*, *A. polycephala* e *C. grandis*) e o cafeeiro.

Salgado et al. (2006) também observaram menores valores de saturação por base nos sistemas de cafeeiro sombreado com Ingazeiro e Grevílea quando comparados ao cultivo a pleno sol.

**TABELA 4** - Caracterização química do solo na profundidade (Prof.) de 0-20 cm e 20-40 cm, pH, fósforo (P), matéria orgânica (Mo), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) em cafeeiro sombreado. Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

Var. <sup>1</sup>	Unidades	Pontos				Prof. (m)		CV %
		D1L	D6L	D1E	D6E	0,0-0,20	0,20-0,40	
pH*	CaCl <sub>2</sub>	4,62 b	5,06 ab	5,41 a	5,47 a	5,14	5,17	9,45
P <sup>ns</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	37,25	42,00	22,37	30,87	34,60	27,40	48,1
M.O*	g/dm <sup>3</sup>	22,62 ab	22,25 ab	21,12 b	19,37 b	24,55	22,10	28,7
K <sup>ns</sup>	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	2,77	2,96	2,97	3,00	2,80	3,00	20,8
Ca	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	18,99	22,56	27,29	26,17	29,05	25,52	28,10
Mg <sup>ns</sup>	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	10,79	12,89	13,26	12,23	13,03	11,68	22,45
H+Al <sup>ns</sup>	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	38,50	28,50	26,25	30,12	27,15	31,45	43,39
Al*	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	4,95 a	1,28 b	1,01 b	1,91 b	1,52	2,38	10,5
SB**	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	32,59 b	38,42 b	43,54 ab	41,41 b	44,89	40,22	23,66
CTC <sup>ns</sup>	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>	71,09	66,92	69,79	71,54	72,04	71,65	18,58
V*	%	49,43b	58,72ab	64,38ab	59,48ab	63,60	54,87	26,87

\*\*significativo em nível de 1%, \* 5% de significância e ns não significativo de acordo com o teste F. As médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5% de significância. <sup>1</sup>Var. - Variáveis.

Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do solo, não variaram em função do ponto amostral e das profundidades do solo (Tabela 4). No entanto, Ebisa (2014) observou valores superiores de condutividade elétrica, P e K em solo cultivado com cafeeiro sombreado em comparação ao solo de cafeeiro a pleno sol. Também, Tanga, Erenso e Lemma (2014) encontraram maiores valores de condutividade elétrica, N, P e K no solo localizado mais próximo da copa das árvores, o que atribuem à maior deposição de serapilheira das árvores nessa localização. Mas, destacam que há diferenças entre as espécies de árvores avaliadas. As que promovem maior deposição de folhas e frutos aumentam os teores de P, K e condutividade elétrica no solo, e, para as que promovem menor deposição de folhas e frutos observa-se menor interferência da distância da copa das árvores nos teores de P, K e condutividade elétrica do solo.

Os teores de P no solo encontrados nesse trabalho estão dentro dos níveis considerados “médio a alto”, os teores de K, nível “médio” e o de Ca e Mg, nível “alto” (RAIJ et al., 1996), para a cultura do cafeeiro.

#### 4 CONCLUSÕES

Na linha de plantio do cafeeiro a maior resistência mecânica do solo à penetração foi observada no ponto mais próximo a árvore. O solo da linha de tráfego do cafeeiro apresentou menor valor de resistência mecânica à penetração quando comparado à linha de plantio.

Os menores valores de pH do solo foram observados nos pontos localizados nas linhas de plantio das árvores e o maior teor de alumínio no ponto localizado na mesma linha de plantio da árvore à um metro de distância do tronco.

A distribuição espacial das árvores não alterou a umidade do solo e teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio do solo, que se mantiveram dentro das faixas consideradas adequadas para o cultivo do cafeeiro.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao senhor Jefferson Rissato Adorno, família e funcionários da Fazenda Retiro Santo Antônio, por permitirem a realização deste estudo em sua propriedade e por toda ajuda disponibilizada ao longo da realização desta pesquisa, e ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos para o primeiro autor.

## 6 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, V. A. et al. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 700-709, 2016.
- CAMPANHA, M. M. et al. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura na zona da mata, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.
- CHAGAS, K. et al. Efeito de sistemas consorciados de produção de Café Conilon (*Coffea canefora* cv. kouillou) sobre resistência do solo a Penetração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2009. 1 CD-ROM.
- CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 10, n. 4, p. 1-7, 2002.
- DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, p. 485-510, 2007.
- DRESCHER, M. S. et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, fev. 2016.
- EBISA, L. Effect of dominant shade trees on coffee production in Manasibu district, west Oromia, Ethiopia. **Science, Technology and Arts Research Journal**, Nekemte, v. 3, n. 3, p. 18-22, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF, 1999. 370 p.
- FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; SANTINATO, R. Utilização da subsolagem na redução da compactação do solo para a produção de café cultivado no Cerrado Mineiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1648-1656, 2012.
- FREIRE, F. J. et al. Gesso mineral do Araripe e suas implicações na produtividade agrícola na cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 4, p. 199-213, 2007.
- GOMES, A. S.; PEÑA, Y. A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 49, n. 1, p. 18-20, 1996.
- GUARÇONI, M. A. Características da fertilidade do solo influenciadas pelo plantio adensado de café conilon. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 949-958, 2011.
- 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.
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 639-645, 2010.
- JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 94-102, 2006.
- LIMA, H. V. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 677-684, 2005.
- MACHADO, L. V. et al. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.
- MORAIS, H. et al. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, out. 2003.
- OLIVEIRA, C. R. M. et al. Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 197-206, 2006.
- PALMA, M. A. Z. et al. Resistência do solo à penetração em cafezais cultivados com sistema mecanizado e manual. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 364-370, 2013.

- PEQUENO, P. L. L. et al. Avaliação da densidade do solo em áreas com café arborizado em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2011. 1 CD-ROM.
- RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- \_\_\_\_\_. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (Boletim, 100).
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; REICHERT, J. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 49-134.
- RICCI, M. S. F.; CONCHETO JUNIOR, D. G.; ALMEIDA, F. F. D. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de café arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 379-388, 2013.
- SALGADO, B. G. et al. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com café (*Coffea arabica* L) em Lavras-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 343-349, 2006.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assistat. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 11, p. 3527-3531, 2016.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual: soil conservation service**. Washington: U.S. Department of Agriculture Handbook, 1993. 437 p.
- SOUZA, H. N.; GRAAFF, J.; PULLEMAN, M. M. Strategies and economics of farming systems with coffee in the Atlantic Rainforest Biome. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 84, n. 2, p. 227-242, 2012.
- SOUZA, J. M. et al. Atributos físicos do solo em lavoura de café Conilon, submetida à subsolagem. **Energia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 5, p. 413-425, 2014.
- 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, p. 229-235, 1991.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf. **Revista STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 18-23, 1983.
- TANGA, A. A.; ERENDO, T. F.; LEMMA, B. Effects of three tree species on microclimate and soil amelioration in the central rift valley of Ethiopia. **Journal of Soil Science and Environmental Management**, Northhagen, v. 5, n. 5, p. 62-71, 2014.