



ARTIGO ORIGINAL

Breno Dalcolmo de Almeida Leão¹
Arnaldo Henrique de Oliveira
Carvalho^{1*}
Fábio Luiz de Oliveira²

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Ibatiba, Núcleo de Estudos em Agroecologia e Educação Ambiental, Av. 7 de novembro, 40, 29395-000, Ibatiba, Espírito Santo, Brasil

²Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, 29500-00, Alegre, Espírito Santo, Brasil

*Autor Correspondente:
E-mail: acarvalho@ifes.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Umidade gravimétrica
Densidade do solo
Densidade de partícula
Porosidade total
Resistência à penetração

KEYWORD

Gravimetric moisture
Bulk density
Particle density
Total porosity
Penetration resistance

Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de agroecossistemas no Território do Caparaó

Soil physical attributes in different systems of agroecosystem management in Caparaó territory

RESUMO: A compreensão do impacto do uso e manejo do solo em seus atributos físicos é fundamental no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Objetivou-se avaliar o comportamento dos atributos físicos do solo sob oito tipos de uso e manejo no território do Caparaó (ES). O estudo foi conduzido em oito diferentes agroecossistemas: pastagem de capim gordura (PCG); pastagem de braquiária (PBR); horticultura (HOR); lavouras de café arábica (CA1 e CA2); fruticultura de citros (FRU); floresta de eucalipto (EUC) e vegetação nativa (VEN). Avaliou-se a umidade gravimétrica (UG), a densidade do solo (Ds), a densidade de partícula (DP), a porosidade total (PT) e a resistência do solo a penetração (RP) nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. A maior UG foi encontrada em HOR e VEN. As maiores Ds foram encontradas no sistema de manejo CA2, PCG e FRU. A menor PT ocorreu em PBR na camada superficial (0-10 cm), estatisticamente iguais a CA2 e FRU. Os maiores valores de RP foram observados em PBR para todas as profundidades avaliadas (5,28, 8,32 e 10,68 MPa). As médias da RP nos sistemas de manejo CA1 e CA2 foram iguais estatisticamente, mesmo situados em diferentes localidades. Nos sistemas PCG, PBR, FRU e EUC, os valores de RP, na profundidade de 20-40 cm, ficaram acima de 4,0 MPa, considerados uma limitante para o desenvolvimento radicular. Os resultados indicam que os diferentes manejos das culturas instaladas nos agroecossistemas causam variações significativas nos atributos físicos do solo avaliados.

ABSTRACT: *Comprehending impacts of soil management and use on its physical attributes is essential to develop sustainable agricultural systems. This study evaluated the behavior of soil physical properties under different types of use and management in “Caparaó Capixaba” territory, state of Espírito Santo. This study was performed in eight different agroecosystems: Molasses grass pasture (PCG); Signalgrass pasture (PBR); Arabic coffee plantation (CA1 and CA2); Horticulture (HOR); Citrus culture (FRU); Eucalyptus forest (EUC) and Native vegetation (VEN). Gravimetric moisture (GM), bulk density (Bd), particle density (Pd), total porosity (Tp) and soil penetration resistance (PR) were evaluated at 0–10 cm, 10–20 cm and 20–40 cm depths. The highest GM was found in HOR and VEN. The highest Bd were found in the CA2, PCG and FRU management system. At a surface depth (0–10 cm), PBR presented the lowest PT value, statistically equal to CA2 and FRU. The highest values of RP were observed in PBR at all evaluated depths (5.28, 8.32 and 10.68 Mpa). CA1 and CA2 were similar in RP, even when in different places. PCG, PBR, FRU e EUC showed RP higher than 4.0 MPa, which is beyond the critical limit for root system growth. The results indicate that different soil management approaches for the existing crops and vegetation in the agroecosystems can cause significant changes in soil physical attributes.*

Recebido em: 06/09/2019
Aceito em: 08/05/2020

1 Introdução

A ocupação dos solos no território do Caparaó, no estado do Espírito Santo, com a substituição de áreas naturais por agroecossistemas de pastagens, silvicultura ou agricultura, tem culminado, muitas vezes, em sua degradação (Guimarães et al., 2015). O tipo de manejo e uso do solo adotado pelas atividades desenvolvidas nesses agroecossistemas altera de diferentes formas os atributos edáficos, como o aumento da densidade do solo e a perda da matéria orgânica, e pode acarretar em danos que impactam em sua qualidade (Silva et al., 2015).

Tais alterações podem desencadear processos de degradação do solo que refletem diretamente na dinâmica dos agroecossistemas, uma vez que afetam importantes fatores como fertilidade, estrutura e atividade biológica, consequentemente gerando prejuízos às atividades produtivas que deles dependem (Carneiro et al., 2009). Sabe-se, entretanto, que sistemas de manejo que promovem o uso conservacionista do solo são capazes de mitigar esses impactos e proporcionar condições para que os agroecossistemas cumpram de forma balanceada suas funções ambientais, sociais e econômicas, visando, portanto, sua sustentabilidade (Vieira et al., 2018).

Nesse sentido, é essencial o conhecimento e o constante estudo dos atributos do solo em um agroecossistema, de forma que possibilite monitorar as alterações decorrentes das atividades agropecuárias, adotar práticas em prol da melhoria da qualidade do solo e antecipar possíveis processos de degradação (Burgreaver et al., 2019; Soares et al., 2016). Além disso, torna-se viável a análise comparativa entre agroecossistemas, assim como o contraste com ecossistemas naturais, auxiliando a elucidar o comportamento do solo em função de diferentes culturas e sistemas de manejo, bem como a gerenciar de forma eficiente e sustentável os recursos naturais disponíveis (Carneiro et al., 2009; Oliveira et al., 2015).

Dentre as características físicas de interesse para avaliações consistentes da qualidade do solo, a densidade é um importante indicador do grau de compactação do solo decorrente de processos como pisoteio de animais, carga de máquinas e implementos agrícolas e florestais ou mesmo manejo inadequado do solo oriundo da implantação de sucessivos cultivos intensivistas, e tem sido amplamente utilizada para esse fim em aplicações práticas e científicas (Carmo et al., 2011; Silva et al., 2015; Tormena et al., 2002). Além disso, o aumento da densidade acompanhado da redução da porosidade total pode revelar a utilização inadequada do solo, geralmente em função de revolvimento excessivo e adoção de práticas pouco conservacionistas, alertando para a desestruturação e aumento de processos erosivos (Colombo et al., 2017; Soares et al., 2016).

A resistência do solo à penetração consiste em outra característica física que é frequentemente associada à compactação e ao uso inadequado do solo, pois é influenciada pelos sistemas de preparo e manejo adotados, e valores muito altos interferem negativamente no crescimento radicular das plantas, no estabelecimento e na produtividade das culturas, constituindo-se uma ferramenta de aplicação prática interessante para o estudo e monitoramento do impacto de diferentes agroecossistemas (Tormena et al., 2002; Vogel et al., 2017).

Entretanto deve-se aferir a umidade do solo no momento da avaliação de sua resistência à penetração utilizando-se penetrômetro, sobretudo para efeito de comparação entre estudos, pois há uma relação inversamente proporcional entre ambas as propriedades que afeta significativamente os resultados obtidos (Vaz et al., 2002).

Assim, objetivou-se avaliar o comportamento dos atributos físicos do solo em áreas sob oito tipos de uso e manejo do solo no território do Caparaó capixaba, levando em consideração os impactos destes na sustentabilidade dos agroecossistemas.

2 Material e Métodos

O estudo foi conduzido no primeiro semestre de 2018, em diferentes propriedades rurais localizadas nos municípios de Ibatiba e Muniz Freire, região do Caparaó capixaba, estado do Espírito Santo. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas, com distribuição dos diferentes agroecossistemas nas parcelas e em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) nas subparcelas, com quatro repetições.

Os agroecossistemas avaliados foram: pastagem em declive, formada com capim-gordura, que não recebe carga de animais para pastejo há mais de 10 anos, localizada no Córrego dos Perobas, Ibatiba-ES (PCG); pastagem em declive, formada em *Brachiaria* spp., utilizada para o pastejo de bovinos e equinos, com a utilização de 30 animais por hectare, localizada no Córrego do Perdido, Ibatiba-ES (PBR); área destinada à produção de olerícolas (repolho, batata-inglesa), de forma mecanizada e com adubação química e orgânica, localizada na comunidade do Alto Norte, em Muniz Freire-ES (HOR); lavoura de café arábica, cultivar Catucaí 785, com 2 ha plantados, 25 anos de idade e densidade de cinco mil plantas por hectare, localizada no Córrego dos Carangolas, Ibatiba-ES (CA1); lavoura de café arábica, cultivar Catucaí, com 1 ha plantado, 20 anos de idade e densidade de 2.666 plantas por hectare, localizada no Córrego dos Perobas, Ibatiba-ES (CA2); área de fruticultura formada em pomar de laranja, com 0,5 ha plantado, oito anos e densidade de 400 plantas por hectare, localizada no Córrego Perdido, Ibatiba-ES (FRU); Floresta plantada de eucalipto, com 2 ha plantados, 20 anos e densidade de mil plantas por hectare, localizada no Córrego do Perdido, Ibatiba-ES (EUC); e vegetação nativa da Mata Atlântica em estado de 20 anos de regeneração, localizada no Córrego Perdido, Ibatiba-ES (VEN). Cada agroecossistema constituiu uma parcela experimental.

Por meio da metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) de análise granulométrica (Teixeira et al., 2017) e com base no triângulo textural, determinaram-se a composição granulométrica e as classes texturais dos solos de cada um dos agroecossistemas avaliados (Tabela 1).

Para determinar a composição química dos solos nos diferentes agroecossistemas estudados (Tabela 2), coletaram-se amostras compostas na camada de 0-20 cm, uma vez que esta é a profundidade de maior atividade das raízes e a profundidade recomendada na maioria dos boletins de análise de solo e interpretação.

Tabela 1. Distribuição do tamanho das partículas e classe textural dos solos sob diferentes sistemas de uso e manejo dos agroecossistemas no território do Caparaó capixaba (ES)**Table 1:** Particle size distribution and soil textural class under different systems of use and management of agroecosystems in the Caparaó territory capixaba (ES)

Agroecossistemas	g kg ⁻¹			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
PCG	762	46	192	Franco-arenosa
PBR	579	50	371	Franco-argilo-arenosa
HOR	386	62	552	Argilosa
CA1	589	43	368	Franco-argilo-arenosa
CA2	756	55	189	Franco-arenosa
FRU	695	131	174	Franco-arenosa
EUC	420	109	471	Argilosa
VEN	679	74	247	Franco-argilo-arenosa

Tabela 2. Composição química dos solos dos diferentes agroecossistemas estudados**Table 2.** Chemical composition of the soils of the different agroecosystems studied

Atributos Químicos	PCG	PBR	HOR	CA1	CA2	FRU	EUC	VEN
pH (H ₂ O)	5,03	5,16	6,26	5,44	5,19	5,83	4,61	5,35
P (mg dm ⁻³)	1,96	1,79	75,07	13,23	15,98	11,89	2,15	2,95
K (mg dm ⁻³)	23,98	29,21	254,31	114,24	41,05	121,61	28,02	172,21
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,46	0,51	4,14	1,95	1,51	2,13	1,06	1,70
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,05	0,02	0,77	0,35	0,38	0,40	0,13	1,49
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,56	0,84	0	0,06	0,13	0,00	0,63	0,09
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,1	8	2,8	3,30	3,4	2,40	7,5	4,70
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,57	0,6	5,56	2,59	1,99	2,84	1,26	3,63
T (cmol _c dm ⁻³)	6,67	8,6	8,36	5,89	5,39	5,24	8,76	8,33
V (%)	8,55	6,98	66,51	43,97	36,92	54,20	14,38	43,58
MO (dag/Kg)	2,03	2,38	2,35	0,97	1,11	1,37	2,28	3,00

No período foram realizadas as avaliações relacionadas aos atributos físicos de solo, sendo: umidade gravimétrica (UG), densidade do solo (Ds) e densidade de partícula (Dp), porosidade total (PT) e resistência do solo à penetração (RP) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

A determinação da resistência do solo à penetração (RP) em cada ponto amostral foi realizada em campo com um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, com altura de queda do êmbolo de 40 cm, registrando-se o número de impactos (NI, em impactos dm⁻¹) suficientes para atravessar cada camada. A resistência dinâmica (MPa) foi calculada por meio da fórmula proposta por Stolf et al. (1983), $RP = (5,6 + 6,89 \cdot NI) \cdot 0,098$.

No momento da determinação da RP, foram retiradas amostras para avaliação da umidade atual do solo, a umidade gravimétrica (UG) e para o cálculo do fator “f”, em cada ponto amostral, utilizando para a análise a metodologia descrita pelo *Manual de métodos de análise de solo* (Teixeira et al., 2017).

Avaliou-se a densidade de solo (Ds) a partir das amostras com estrutura deformada por meio do método da proveta,

corrigidas pelo fator “f” de correção de umidade da amostra, a densidade de partículas (Dp) foi obtida por meio do método do balão volumétrico e a porosidade total (Pt) foi calculada pelo método indireto, utilizando-se a expressão $Pt = ((Dp - Ds)/Dp)$ (Teixeira et al., 2017).

Os dados de RP, UG, Ds, Dp e Pt foram submetidos à análise de variância e contraste das médias dos agroecossistemas avaliados, em uma mesma profundidade, por meio do teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011).

3 Resultados e Discussão

Nos agroecossistemas estudados, verificaram-se diferenças estatísticas significativas para as variáveis UG, Ds, Dp e PT, exceto em Dp na profundidade de 20-40 cm e PT na profundidade de 10-20 cm (Tabela 3).

Os maiores valores da UG foram registrados, na camada de 0-10 cm, nos sistemas HOR, VEN e EUC (respectivamente 0,234; 0,214 e 0,186 kg kg⁻¹). Esses valores mais elevados podem ser devido à predominância da fração argila nos sistemas HOR e EUC (Tabela 1),

favorecendo maior retenção de água no solo. O sistema HOR é o único dos sistemas avaliados que possui manejo da irrigação e, como se trata de um sistema mecanizado, é necessária atenção à umidade de forma que se realize o tráfego de máquinas apenas quando o solo estiver friável, evitando os riscos de compactação (Rossetti & Centurion, 2015). No sistema de VEN, o maior valor de UG é explicado pela existência de uma cobertura vegetal densa que promove maior conservação da umidade e criação de um microclima mais estável (Dantas et al., 2017), relacionado com maior capacidade de retenção de água proporcionando melhor desenvolvimento das plantas, apesar da predominância da fração areia nesse sistema. Nos demais agroecossistemas avaliados, há menor retenção de umidade no solo provavelmente influenciada pela predominância da fração areia (Tabela 1).

Quanto à variável Ds, o sistema CA2 seguido pelos sistemas PCG e FRU apresentaram maiores valores nas três profundidades avaliadas (Tabela 3). Estes sistemas apresentam textura franco-arenosa (Tabela 1), com maior distribuição na fração areia e, em razão do rearranjo das partículas de diferentes tamanhos, pode ter contribuído para que a Ds atingisse valores mais altos

(Lima et al., 2013). Ao mesmo tempo, esses valores mais elevados podem estar associados ao sistema de manejo adotado, visto que utiliza-se no sistema CA2 e FRU o cultivo convencional do solo e ambos possuem baixo conteúdo de matéria orgânica (Tabela 2). No sistema PCG, a presença de animais promove aumento desse atributo do solo devido ao seu pisoteio (Soares et al., 2016). A área de VEN apresentou os menores valores de Ds em todas as profundidades, diferente estatisticamente dos demais sistemas nas camadas de 0-10 cm e 20-40 cm (Tabela 3). Esse fato pode estar associado ao maior teor de matéria orgânica encontrado sob esse sistema (Tabela 2), que pode ser responsável pela redução a longo prazo da Ds (Tormena et al., 2002), refletindo na melhor estruturação do solo, à medida que a substituição da vegetação nativa por culturas e pastagens contribui para o aumento da Ds, como relatado por Jakelaitis et al. (2008). Além disso, VEN é o único sistema avaliado sujeito apenas ao adensamento das partículas do solo, não sofrendo processos de compactação por meio de pressão mecânica exercida sobre o solo, oriunda de atividades antrópicas como a mecanização e o pisoteio de animais, que podem influenciar no aumento da Ds (Carneiro et al., 2009).

Tabela 3. Umidade gravimétrica, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total dos solos dos agroecossistemas avaliados, em diferentes profundidades – Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), Ibatiba (ES), 2018

Table 3. Gravimetric moisture, bulk density, particle density and total soil porosity of the evaluated agroecosystems at different depths. Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), Ibatiba (ES) 2018

Agroecossistemas	Profundidade (cm)					
	0-10			10-20		
	----- UG (kg kg ⁻¹) -----			----- Ds (kg dm ⁻³) -----		
PCG	0,157 b	0,137 b	0,141 b	1,20 b	1,26 a	1,23 a
PBR	0,138 b	0,152 b	0,158 b	1,17 c	1,17 b	1,15 b
HOR	0,234 a	0,372 a	0,374 a	1,14 c	1,14 b	1,11 b
CA1	0,157 b	0,171 b	0,159 b	1,16 c	1,17 b	1,20 a
CA2	0,111 c	0,158 b	0,166 b	1,28 a	1,24 a	1,20 a
FRU	0,092 c	0,121 b	0,121 b	1,21 b	1,29 a	1,22 a
EUC	0,186 a	0,186 b	0,186 b	1,15 c	1,16 b	1,17 a
VEN	0,214 a	0,155 b	0,157 b	1,04 d	1,11 b	1,05 c
CV (%)	18,38			3,91		
	----- DP ³ (kg dm ⁻³) -----			----- PT ⁴ (m ³ m ⁻³) -----		
PCG	2,85 a	2,79 a	2,70 a	0,579 a	0,549 a	0,544 b
PBR	2,53 b	2,60 b	2,53 a	0,536 b	0,550 a	0,545 b
HOR	2,72 b	2,68 b	2,71 a	0,578 a	0,575 a	0,589 a
CA1	2,73 b	2,65 b	2,71 a	0,577 a	0,560 a	0,556 b
CA2	2,87 a	2,85 a	2,69 a	0,555 b	0,564 a	0,552 b
FRU	2,73 b	2,71 b	2,57 a	0,556 b	0,523 a	0,525 b
EUC	2,66 b	2,58 b	2,63 a	0,569 a	0,552 a	0,552 b
VEN	2,63 b	2,64 b	2,68 a	0,606 a	0,582 a	0,607 a
CV (%)	4,25			4,41		

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Em relação à porosidade total (PT), observa-se que, na camada superficial (0-10 cm), o menor valor encontrado foi na área de pasto com braquiária (PBR, 0,536 m³ m⁻³), embora não

diferindo estatisticamente da lavoura de café arábica (CA2) e do pomar de laranja (FRU) (Tabela 3). Tais sistemas promoveram aumento na Ds e reduziram a PT em comparação à VEN. Estes

resultados podem ser atribuídos ao pisoteio animal sobre o solo na pastagem (Rossetti & Centurion, 2015) e pelo uso inadequado ou de práticas pouco conservacionistas nos sistemas CA2 e FRU (Burgrever et al., 2019; Soares et al., 2016). Nesse sentido, os indícios de compactação do solo em processo nesses agroecossistemas é responsável por reduzir a porosidade total, devido à aplicação de cargas na superfície do solo e não revolvimento do solo. Assim, reduzir o número de animais ou adotar sistema de piquetes na PBR e consorciar plantas de cobertura eficazes na descompactação do solo nos sistemas CA2 e FRU podem ser estratégias interessantes para aumentar a porosidade nesses sistemas de manejo.

Entre os sistemas avaliados, a área de pasto com braquiária (PBR) apresentou os maiores valores de resistência do solo à penetração (RP) em todas as camadas (5,28, 8,32 e 10,68 MPa, respectivamente), sendo estatisticamente igual à do pomar de laranja (FRU) na profundidade de 0-10 cm e diferente dos demais nas profundidades (Figura 1).

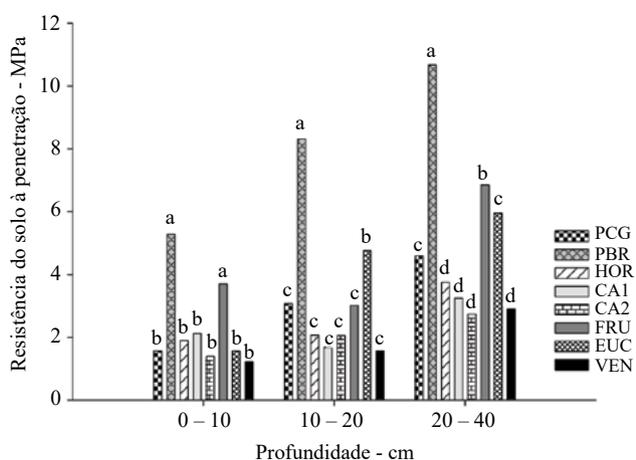


Figura 1. Resistência do solo à penetração em três profundidades e diferentes agroecossistemas avaliados – Ifes, Ibatiba (ES), 2018

Letras iguais na mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). PCG = pastagem de capim-gordura; PBR = pastagem de *Brachiaria*; HOR = área de horticultura; CA1 e CA2 = lavouras de café arábica; FRU = fruticultura com pomar de laranja; EUC = floresta plantada de eucalipto; VEN = vegetação nativa da Mata Atlântica.

Figure 1. Resistance of soil to penetration at three depths and different evaluated agroecosystems. Ifes, Ibatiba (ES), 2018

Equal letters at the same depth do not differ from each other by the Tukey test ($p < 0.05$). PCG = fat grass pasture; PBR = *Brachiaria* pasture; HOR = horticultural area; CA1 and CA2 = arabica coffee crops; FRU = orange orchard fruit growing; EUC = planted eucalyptus forest; VEN = native vegetation of the Atlantic Forest.

Resultado similar é observado na literatura para contraste de sistemas de manejo de pastagem com outros agroecossistemas, sendo a causa geralmente atribuída à constante pressão mecânica exercida pelo pisoteio dos animais (Jakelaitis et al., 2008; Marchão et al., 2009). Esse fato pode ser confirmado comparando-se as duas áreas de pastagens (PBR com PCG), pois a PCG, apesar de também constituir uma pastagem, não recebe carga animal e pressão de pastejo há 10 anos, resultando em menor valor de RP, similar aos demais sistemas avaliados.

Quanto ao alto valor de RP de FRU na camada de 0-10 cm (3,70 MPa), provavelmente tenha ocorrido devido à baixa

UG do solo no momento da coleta dos dados ($0,092 \text{ kg kg}^{-1}$) associado a maior densidade, uma vez que esses atributos influenciam de forma inversa a resistência à penetração do solo pelo aumento na coesão e redução da movimentação das partículas minerais (Vaz et al., 2002).

Ambos os sistemas de cafeicultura (CA1 e CA2) apresentaram valores estatisticamente iguais de RP em todas as profundidades avaliadas, mesmo estando localizados em diferentes propriedades rurais. Esse resultado possivelmente se associa ao fato de o manejo da cafeicultura em ambas as propriedades ocorrerem de forma bastante similar, principalmente em função do aspecto geográfico da região em que estão inseridas, dado que as práticas adotadas podem ser responsáveis por alterar as propriedades físicas do solo (Carmo et al., 2011; Silva et al., 2015).

Considerando ainda a classificação de resistência do solo à penetração proposta por Soil Survey Staff (Arshad et al., 1996), os valores de ambos os sistemas se situam nas classes de moderada (entre 1,0 e 2,0 MPa) a alta (entre 2,0 e 4,0 MPa) resistência, abaixo do limite crítico de impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular, indicando maior capacidade de sustentabilidade desses agroecossistemas diante de problemas decorrentes de compactação do solo.

Nos demais agroecossistemas, observa-se que o pasto de capim-gordura (PCG) (20-40 cm), o pasto de *Brachiaria* (PBR) (0-10 cm), o pomar de laranja (FRU) (20-40 cm) e o eucalipto (EUC) (10-20 e 20-40 cm) se situam na classe de resistência do solo à penetração “Muito Alta” (entre 4,0 e 8,0 MPa) e PBR (10-20 e 20-40 cm) na classe “Extremamente Alta” (maior que 8,0 MPa), todos acima do limite crítico de impedimento do desenvolvimento do sistema radicular (Arshad et al., 1996). Nesses agroecossistemas, os solos são mais suscetíveis à compactação em função do pisoteio promovido pelos animais, do manejo inadequado, além da possível formação de agregados secundários decorrentes da combinação da argila com a fração areia que, teoricamente, forçaria a formação de camadas compactadas (Lima et al., 2013).

Nos agroecossistemas de pastagem (PCG e PBR), a compactação do solo compromete a produção e rendimento das forrageiras, em virtude do desenvolvimento incipiente do sistema radicular, que demanda muita energia para romper as camadas compactadas e favorece a desestruturação e a erosão do solo (Cipriani et al., 2018; Marchão et al., 2009), afetando potencialmente a sustentabilidade nos âmbitos ambiental e econômico.

Efeito similar é observado nos agroecossistemas de fruticultura (FRU), o que promove a degradação das condições ambientais ótimas para o desenvolvimento da citricultura, devido à redução da infiltração de água e ao aumento dos processos erosivos, dentre outras desvantagens, o que resulta em menor produtividade e sustentabilidade dos pomares (Azevedo et al., 2017). Entretanto, na cultura do eucalipto (EUC), a compactação do solo pode ter menos influência no crescimento da parte aérea e no volume de madeira produzido (Seixas & Souza, 2007), reduzindo o impacto desse fator na sustentabilidade do agroecossistema e apresentando-o como alternativa de uso de solo para as áreas com problemas de compactação.

De forma geral, observa-se um incremento na RP em todos os agroecossistemas em profundidade (Figura 2), fato que também foi constatado em diferentes usos de solo por Colombo et al. (2017). Fenômeno como esse pode ocorrer de forma

natural, por meio do ajuste de partículas do solo e dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (Ferreira et al., 1999), principalmente em maiores profundidades, onde esse efeito é potencializado pela oscilação do nível do lençol freático.

Diferentes agroecossistemas apresentam variações nos atributos físicos do solo avaliados e na resistência à penetração, em função da cultura instalada, das práticas de manejo adotadas e da classe textural dos solos. Os sistemas PCG e

CA2 apresentaram maior densidade do solo não refletida em maior resistência do solo à penetração, provavelmente por apresentarem maior teor de areia em sua composição textural (Tabela 1). Já a PBR, mesmo com densidade baixa em razão do elevado teor de matéria orgânica, apresentou maior resistência à penetração em virtude do pisoteio promovido pela presença de animais nesse sistema associado a maior teor de argila em sua composição granulométrica (Tabela 1).

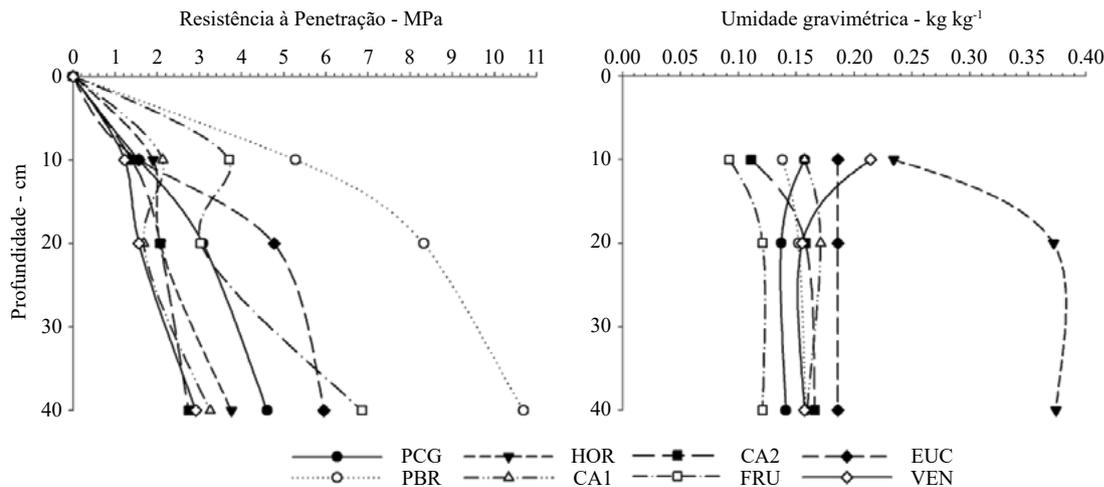


Figura 2. Resistência à penetração no solo e umidade gravimétrica em três profundidades em diferentes agroecossistemas avaliados – Ifes, Ibatiba (ES) PCG = pastagem de capim-gordura; PBR = pastagem de *Brachiaria*; HOR = área de horticultura; CA1 e CA2 = lavouras de café arábica; FRU = fruticultura com pomar de laranja; EUC = floresta plantada de eucalipto; VEN = vegetação nativa da Mata Atlântica

Figure 2. Resistance to soil penetration and gravimetric moisture at three depths in different evaluated agroecosystems – Ifes, Ibatiba (ES)

PCG = fat grass pasture; PBR = *Brachiaria* pasture; HOR = horticultural area; CA1 and CA2 = arabica coffee crops; FRU = orange orchard fruit growing; EUC = planted eucalyptus forest; VEN = native vegetation of the Atlantic Forest.

4 Conclusões

Os sistemas de uso e manejo dos agroecossistemas caracterizados induzem alterações no comportamento dos atributos físicos do solo. Os manejos observados em PCG, EUC e CA1, apesar de influenciarem nos atributos físicos do solo nesses agroecossistemas, não afetaram sobremaneira a sustentabilidade, permanecendo próximos aos da vegetação nativa. Os demais sistemas de manejo, PBR, HOR, CA2 e FRU, impactam negativamente o ambiente edáfico em relação ao estado natural da vegetação nativa por meio da compactação do solo, reduzindo a sustentabilidade desses agroecossistemas.

Referências

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.

AZEVEDO, F. A.; DUVARESCH, D. L.; MARTINELLI, R.; AGUILLERA, D. F. F.; SILVA, B. M. P.; SILVEIRA, N. M.; BINOTI, R. M. Soil coverage management in Brazilian citriculture. *Citrus Research & Technology*, Cordeirópolis, v. 35, n. 2, p. 85-95, 2017.

BURGREVER, J. C.; FREITAS, F. F.; FISTAROL, T. A. F.; ARAÚJO, F. B.; JÚNIOR, G. D. F. S. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo-Alta Floresta. *Revista Científica Rural*, Bagé, v. 21, n. 2, p. 93-104, 2019.

CARMO, D. L.; NANNETTI, D. C.; DIAS JÚNIOR, M. D. S.; ESPÍRITO SANTO, D. J. D.; NANNETTI, A. N.; LACERDA, T. M. Propriedades físicas de um latossolo vermelho-amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 991-998, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CIPRIANI, L. P.; ÁVILA, J. C.; SOUZA, R. C.; RODRIGUES, E. M. S.; SOARES, E. R.; NOGUEIRA, A. E. Qualidade da estrutura do solo em sistema integrado de produção agropecuária no município de Ariquemes, Rondônia. *Revista Agroecossistemas*, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 287-297, 2018.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. O. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. *Campo Digital*, Campo Mourão, v. 12, n. 1, p. 21-29, 2017.

- DANTAS, M. S.; ALMEIDA, N. V.; MEDEIROS, I. S.; SILVA, M. D. Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, Recife, v. 2, n. 1, p. 87-97, 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 507-514, 1999.
- GUIMARÃES, G. P.; ANDRADE, K. C. D.; MENDONÇA, E. D. S. Erosão hídrica e compartimentos da matéria orgânica do solo em sistemas cafeeiros conservacionistas e convencionais. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 3, p. 365-374, 2015.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. D.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.
- LIMA, R. P.; DE LÉON, M. J.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 16-20, 2013.
- MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PALUDO, A. L.; GUIMARAES JUNIOR, R. *Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no Oeste Baiano*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. (Comunicado Técnico nº 163).
- OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015.
- ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Ensaio de compactação em Latossolo cultivado com milho sob diferentes períodos de adoção de tipos de manejo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 10, n. 4, p. 499-505, 2015.
- SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1047-1052, 2007.
- SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015.
- SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. *Stab*, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. F. *Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 2002. (Comunicado Técnico nº 51)
- VIEIRA, C. L.; GOULART, A. G.; SILVA, T. M.; VERDUM, R. Emprego do capim vetiver para o controle da erosão e cobertura do solo nos areais do sudoeste do estado do RS, Brasil. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, São José dos Pinhais, v. 1, n. 2, p. 338-351, 2018.
- VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; GRILLO, J. F.; MICHALOVICZ, L.; FEY, R. Avaliação dos penetrômetros de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica à penetração do solo. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 30-36, 2017.

Contribuição dos autores: Breno Dalcolmo de Almeida Leão e Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho realizaram a coleta dos dados em campo, procederam as análises laboratoriais e estatísticas, a avaliação dos resultados, além da revisão bibliográfica e da redação científica; Fábio Luiz de Oliveira contribuiu na revisão e na redação científica.

Agradecimentos: Ao MCTIC/Mapa/MEC/Sead/CNPq pelo apoio financeiro ao projeto referente ao processo 402655/2017-6. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (Fapes) pelo apoio financeiro e pelas bolsas de iniciação científica concedida (TO 317/2016) e ao CNPq pela bolsa de produtividade do pesquisador Fábio Luiz de Oliveira.

Fontes de financiamento: Recursos custeados pelo MCTIC/MAPA/MEC/SEAD/CNPq e pela Fapes.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.