

**Atributos físicos do solo sob diferentes usos da terra do Cerrado de Minas Gerais****Physical attributes of the soil under different land uses in the Cerrado of Minas Gerais**

DOI: 10.34188/bjaerv3n4-086

Recebimento dos originais: 20/08/2020

Aceitação para publicação: 20/09/2020

**Daniela Aparecida Freitas**

Mestre em Gestão de Recursos Florestais pelo IPB

Instituição: Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior Agrária

Endereço: Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal

E-mail: daniela13\_ita@hotmail.com

**Igor Costa de Freitas**

Doutorando em Produção Vegetal pela UFMG

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Agrárias

Endereço: Av. Universitária, n 1000, 39404-547, Montes Claros – MG, Brasil

E-mail: freitasicde@gmail.com

**Leidivan Almeida Frazão**

Professora Adjunta da UFMG

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Agrárias

Endereço: Av. Universitária, n 1000, 39404-547, Montes Claros – MG, Brasil

E-mail: leidivan.fraza@gmail.com

**Nayara Christina Almeida Araújo**

Mestre em Produção Vegetal pela UFMG

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Agrárias

Endereço: Av. Universitária, n 1000, 39404-547, Montes Claros – MG, Brasil

E-mail: nayara\_christina15@hotmail.com

**Leliane Raynne Duarte Silva**

Graduada em Engenharia Florestal pela UFMG

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Agrárias

Endereço: Av. Universitária, n 1000, 39404-547, Montes Claros – MG, Brasil

E-mail: l.e.l.i.s@hotmail.com

**Márcia Vitória Santos**

Professora Adjunta da UFVJM

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – Campus JK

Endereço: Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba, 39100000 – Diamantina -MG, Brasil

E-mail: marciavitori@hotmail.com

**RESUMO**

O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físicos do solo após a conversão de pastagem degradada em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e culturas forrageiras em Curvelo, Minas Gerais. Coletaram-se amostras nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Os atributos avaliados foram densidade do solo (DS) e de partículas (DP), porosidade total (PT), diâmetro médio geométrico (DMG) e ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) em sete tratamentos: ILPF com cultivo de eucalipto consorciado com milho e capim-marandu (ILPF M), milho e java (ILPF J) e milho, marandu e java (ILPF J+M); monocultivo de capim-marandu (MAR) e java (JAVA); consórcio de marandu com java (J+M) e pastagem degradada (PAST). Os resultados foram submetidos à análise de variância e a diferença entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O menor valor de DS foi observado no JAVA (0-5 cm) e o maior valor de PT no JAVA (0-5 cm). O maior DMP e DMG (10-20 cm) foi encontrado no PAST. Para DP e IEA não se encontraram diferenças significativas entre tratamentos e profundidades.

**Palavras-Chave:** Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, Qualidade física do solo, Monitoramento.

**ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the physical attributes of the soil after the conversion of degraded pasture into integrated crop-livestock-forest systems (ICLF) and forage crops in Curvelo, Minas Gerais. Soil samples were collected from depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm. The evaluated attributes were soil density (SD) and particles density (PD), total porosity (TP), geometric mean diameter (GMD) and weighted mean diameter (WMD) and aggregate stability index (ASI) in seven treatments: ICLF with cultivation eucalyptus intercropped with corn and marandu grass (ICLF M), corn and java (ICLF J) and corn, marandu grass and java (ICLF J+M); monoculture of marandu grass (MAR) and java (JAVA); marandu consortium with java (J+M) and degraded pasture (PAST). The results were submitted to analysis of variance and statistical significance of differences between treatment means were assessed by Tukey test ( $p < 0.05$ ). The lowest SD values were observed in JAVA (0-5 cm) and the highest TP values in JAVA (0-5 cm). The highest GMD and WMD (10-20 cm) were found in PAST. For PD and ASI no significant differences were found between treatments and depths.

**Keywords:** Systems of integrated crop-livestock-forest, Soil physical quality, Monitoring.

**1 INTRODUÇÃO**

A exploração agrícola, pecuária e florestal tem promovido a redução da qualidade do solo, assim como alterações nos indicadores da qualidade física do solo, que são fundamentais na manutenção dos serviços ambientais essenciais à “saúde” do ecossistema (CORVALAN 2005). Assim, torna-se necessário a adoção de sistemas conservacionistas de manejo que promovam melhorias na qualidade do solo e garantam bons níveis de produção aliados a conservação ambiental.

O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), ou agrossilvipastoril, é uma alternativa para tornar a produção sustentável, pois este sistema abrange na mesma área o componente agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão (CORDEIRO et al. 2015). Segundo QUEIROZ et al. (2017), o sistema de ILPF auxilia na melhor utilização dos recursos financeiros, uma

vez que a produção se estende ao longo do ano e, conseqüentemente, diminui o custo de produção e aumenta a renda, para além de beneficiar diretamente o solo, melhorando os seus atributos físicos.

A qualidade física do solo advém do seu processo de formação e pode ser modificada de acordo com o manejo utilizado. Deste modo, a avaliação dos atributos do solo é fundamental quando se pretende demonstrar a sustentabilidade do sistema de ILPF (STEFANOSKI et al. 2013). Os indicadores de qualidade física do solo mais utilizados são a densidade aparente ou densidade do solo, densidade real ou de partículas, porosidade total e os índices de agregação, etc. (ASSIS et al. 2015; CARVALHO et al. 2015; BEUTLER et al. 2016).

De acordo com BOGNOLA et al. (2010), para que haja boa qualidade física, o solo deve apresentar condições apropriadas de infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, resistência à desagregação e à ocorrência de processos erosivos e, deve permitir a realização de trocas gasosas com a atmosfera e com o sistema radicular dos vegetais.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físicos do solo após a conversão de pastagem degradada em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e culturas forrageiras em Curvelo, Minas Gerais (MG).

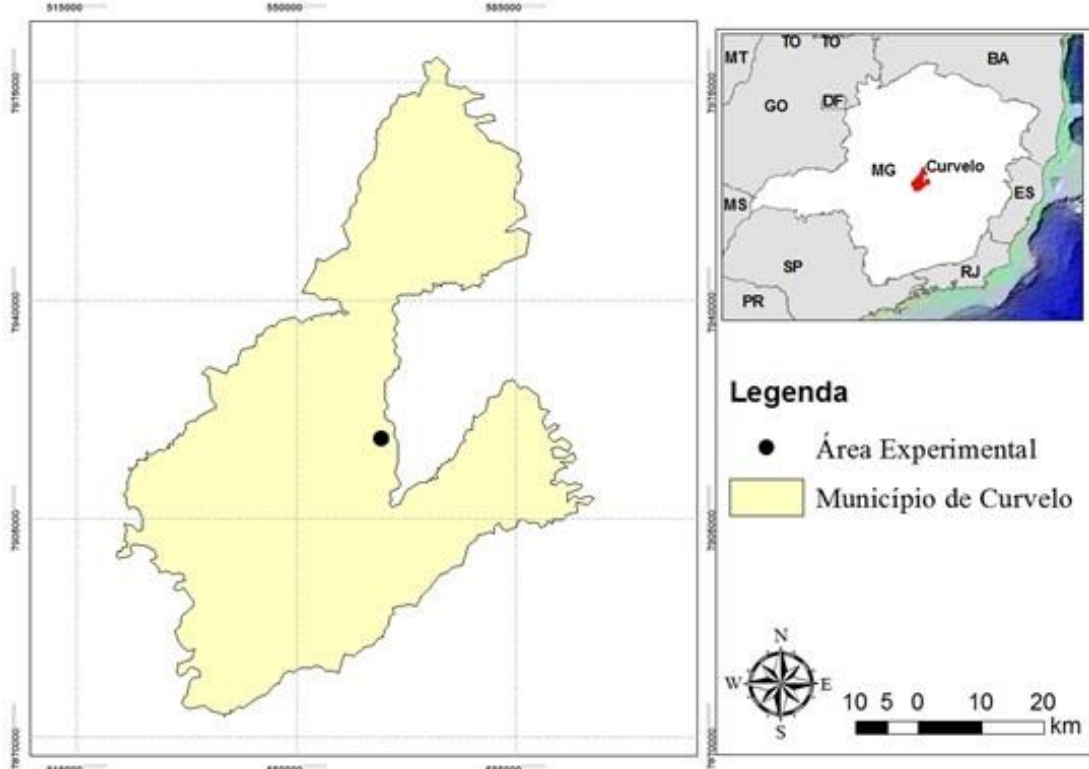
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

A área experimental foi instalada no ano de 2014 na Fazenda Experimental do Moura (pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM), no município de Curvelo (MG) (paralelo 18°44'52,03" de latitude sul e meridiano 44°26'53,56" de longitude oeste), localizado na Mesorregião Central Mineira (Figura 1). A altitude da área é de aproximadamente 644 m, com topografia plana e vegetação de Cerrado.

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, o que corresponde ao clima tropical de savana, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril) e período seco correspondente ao inverno (maio a setembro). A precipitação média anual do município dos últimos 15 anos foi de 1064 mm, com temperatura média de 22°C (INMET 2016).

Figura 1 - Localização da área experimental em Curvelo, Minas Gerais (MG).



Fonte: (FREITAS 2016)

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, cuja classificação textural de 0-30 cm de profundidade encontra-se descrita na tabela 1.

Tabela 1 - Composição granulométrica e classificação textural do solo (0-30 cm) de profundidade da área experimental localizada em Curvelo, Minas Gerais (MG).

Fração granulométrica (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>			Classificação textural <sup>(1)</sup>
Areia	Silte	Argila	
94,8	249,2	656,0	Argiloso

<sup>(1)</sup>Determinação realizada pelo método do densímetro (EMBRAPA 1997).

O solo foi cultivado com pastagem por duas décadas e apresentou valores baixos de pH (acidez ativa média) e valores médios de acidez trocável ( $Al^{3+}$ ), soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al), capacidade efetiva de troca de cátions (t), capacidade potencial de troca de cátions (T), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V) e carbono orgânico (CO) (TABELA 2), conforme classificação de ALVAREZ et al. (1999).

Tabela 2 - Características químicas do solo (0-30 cm de profundidade) ocupado com pastagem<sup>1</sup> de *Urochloa decumbens* antes da implantação da área experimental em Curvelo, Minas Gerais (MG).

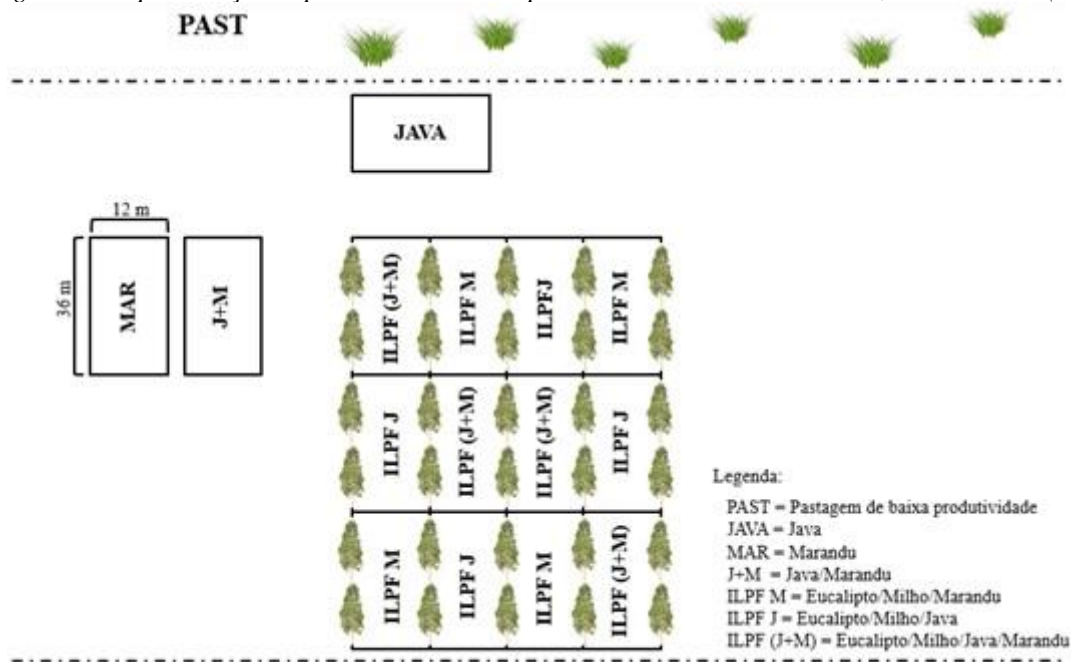
<sup>2</sup> pH	<sup>3</sup> P	K	Ca	Mg	Al	H+AL	<sup>4</sup> SB	<sup>5</sup> t	<sup>6</sup> T	<sup>7</sup> m	<sup>8</sup> V	<sup>9</sup> CO
				mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>			----- % -----		g kg <sup>-1</sup>
5,32	0,47	0,16	1,54	0,59	0,67	2,88	2,30	2,97	5,18	27,95	41,08	19,62

1 = Pastagem em processo de degradação; 2 = pH em água; 3 = Fósforo Mehlich 1; 4 = Soma de Bases; 5 = Capacidade efetiva de Troca de Cátions; 6 = Capacidade potencial de Troca de Cátions; 7 = Saturação por Alumínio; 8 = saturação por Bases; 9 = Carbono Orgânico. Caracterização química realizada conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

## 2.2 TRATAMENTOS

O experimento foi composto por 7 tratamentos, sendo eles: sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, cultivado com eucalipto consorciado com milho e capim-marandu (ILPF M); eucalipto consorciado com milho e java (ILPF J); eucalipto consorciado com milho, marandu e java (ILPF J+M); monocultivo de capim-marandu (MAR); monocultivo de java (JAVA); consórcio de marandu com java (J+M) e pastagem em processo de degradação (PAST) (Figura 2).

Figura 2 – Representação esquemática da área experimental instalada em Curvelo, Minas Gerais (MG).



Fonte: (FREITAS 2016)

Cada tratamento compreendeu 12 m de largura por 36 m de comprimento, sendo, quando na presença de eucalipto, compostos por duas fileiras simples da espécie arbórea espaçadas por 12 m.

As forrageiras implantadas em sistema de ILPF, foram consorciadas com milho apenas no primeiro ano de cultivo.

### 2.3 TRATAMENTO CONTROLE

O solo antes da implantação dos diferentes tratamentos era ocupado por pastagem de *Urochloa decumbens* em processo de degradação (PAST), ou seja, solo exposto e visualmente com perdas de biomassa vegetal, bem como nutrientes, portanto, de baixa produtividade. Assim, esse foi usado como tratamento controle (FREITAS 2016).

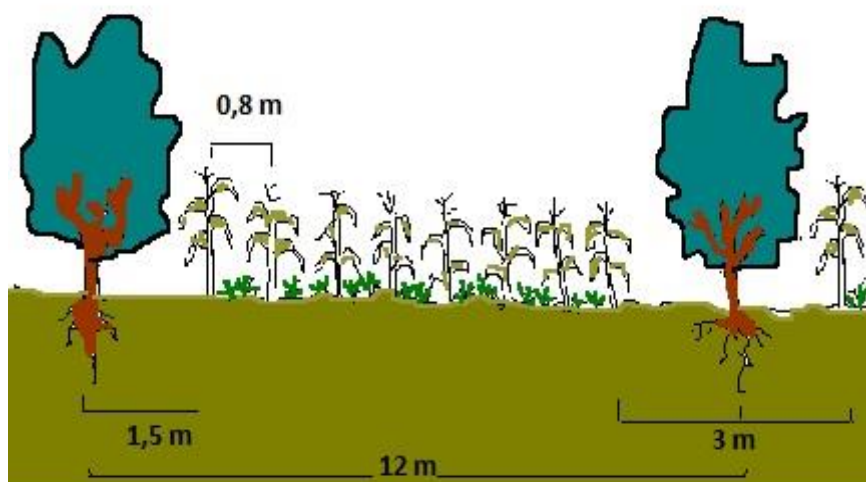
### 2.4 PREPARAÇÃO DA ÁREA

Foi realizada a aplicação de calcário aproximadamente 90 dias antes da implantação dos tratamentos, tendo como referência os resultados da caracterização química do solo feita previamente (Tabela 2). Em seguida, realizou-se o preparo convencional do solo com aração e gradagem.

### 2.5 IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE ILPF

O primeiro componente instalado no sistema de ILPF foi o eucalipto Urograndis clone 144 (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). Na adubação de plantio deste utilizou-se 0,2 kg de fosfato reativo e 0,125 kg de NPK (8-28-16) por cova, cuja dimensão foi de 40x40x40 cm. O adubo foi homogeneizado no solo proveniente de cada cova e posteriormente, foi realizada a plantação. No plantio do eucalipto foi adotado o espaçamento 12x3 m, sendo reservada uma faixa de 1,5 m entre a espécie arbórea e as demais espécies (Figura 3). O transplântio ocorreu juntamente com a semeadura do milho (híbrido SHS 7920) e das forrageiras capim-marandu e java (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Macrotyloma axillare* respectivamente).

Figura 3 - Espaçamento entre espécies e arranjo de espécies dos sistemas de ILPF instalados em Curvelo, Minas Gerais (MG).



Fonte: (SANTOS 2015)

O plantio do milho foi realizado nas entrelinhas do eucalipto, distribuindo-se sete sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,8 m (Figura 3). Para o consórcio das forrageiras marandu e java, a quantidade de sementes puras viáveis de cada espécie correspondeu a 2 kg ha<sup>-1</sup>, totalizando 4 kg ha<sup>-1</sup>. As sementes das forrageiras foram misturadas à adubação de plantio e semeadas em consórcio com o milho, utilizando espaçamento de 0,4 m entre linhas. Na adubação de plantio dessas culturas foram utilizados 400 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (8-28-16). Na adubação de cobertura, foram utilizadas 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, cujas fontes corresponderam a 50% de uréia e a 50% de sulfato de amônio.

A adubação de cobertura do eucalipto foi realizada após 60 dias do transplantio. Foram utilizados 0,125 kg de cloreto de potássio; 0,05 kg de sulfato de amônio; 0,010 kg de bórax e 0,005 kg de sulfato de zinco por planta.

## 2.6 IMPLANTAÇÃO DE MAR, JAVA, J+M E PAST

Na implantação dos tratamentos compostos pelo monocultivo de MAR e pelo monocultivo de JAVA e consórcio de J+M, foram utilizadas as mesmas recomendações de plantio e aplicados os mesmos tratamentos culturais direcionados às forrageiras nos sistemas de ILPF.

A área de pastagem em processo de degradação (PAST) foi utilizada por cerca de 20 anos para bovinocultura de leite e corte. A implantação do pasto foi realizada com *Urochloa decumbens*, não sendo manejada ao longo dos anos.

## 2.7 AMOSTRAGEM DE SOLO

Foram abertas 4 mini trincheiras por tratamento (Figura 4) e as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, totalizando 16 amostras por tratamento e 4 repetições por profundidade (n=4). As trincheiras foram distribuídas aleatoriamente nas áreas estudadas, sendo que nos sistemas de ILPF foram alocadas nas entrelinhas de plantio do eucalipto.

Figura 4 – Mini trincheira utilizada para coletas das amostras de solo na área de estudo localizada em Curvelo, Minas Gerais (MG).



Fonte: (FREITAS 2016)

## 2.8 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS

A densidade do solo (DS), a densidade de partículas (DP) e a porosidade total (PT) foram obtidos, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Já o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) foram adaptados da metodologia de KEMPER & CHEPIL (1965).

Para obter os agregados do solo, as amostras coletadas foram armazenadas em recipientes de plásticos, evitando que fossem destorroadas. Posteriormente as mesmas foram secas ao ar e destorroadas cuidadosamente, passando em um conjunto de peneiras de malha 4 mm e 2 mm. Dos agregados retidos na peneira de 2 mm, pesaram-se 50 g destinado ao peneiramento úmido. Para realização do peneiramento úmido, as amostras foram inseridas em funil de papel de filtro e armazenadas em recipientes contendo uma lâmina de água suficiente para fazer o umedecimento via capilaridade, ficando em repouso por 16 horas. Após esse período, as amostras foram transferidas para um conjunto de peneiras de 2 mm; 1 mm; 0,50 mm e 0,25 mm de malha, em um aparelho de oscilação vertical, cuja amplitude era de 4 cm de altura e frequência de 42 oscilações por minuto, por um período de 15 min. Ao final da agitação, as frações das amostras de solo retidas em cada peneira foram transferidas, com auxílio de jatos de água, para latas de alumínio identificadas e de massa conhecida, eliminando-se o excesso de água. Posteriormente, as frações foram levadas à estufa a 105°C até atingirem massa constante.

Com as massas obtidas das frações provenientes do peneiramento úmido foram determinados o DMG, DMP e o IEA, conforme as seguintes expressões, propostas por MORAES et al. (2001):

$$DMG = \exp\{[(\sum(\ln[Xi] * [Pi])) / \sum(Pi)]\}$$

Em que:

DMG = Diâmetro médio geométrico (mm);

$X_i$  = diâmetro médio de cada fração retida na peneira (mm);

$P_i$  = massa (g) da fração determinada;

$$DMP = \sum X_i * f_i$$

Em que:

DMP = Diâmetro médio ponderado (mm);

$X_i$  = diâmetro médio de cada fração retida na peneira (mm);

$f_i$  = fração da amostra total retida em cada peneira e;

$$IEA\% = \{(M \text{ dos agregados} - \text{fração} < 0,25\text{mm}) / MT \text{ da amostra}\} * 100$$

Em que:

IEA = Índice de estabilidade de agregados (%)

M = massa (g)

MT = massa total da amostra (g)

## 2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores de cada variável foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar se os dados das análises apresentavam distribuições normais. Foi aplicado também o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade de variâncias. Constatada distribuição normal e homogeneidade das variâncias, foram realizadas análises de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2016).

## 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 3.1 DENSIDADE DO SOLO (DS), DENSIDADE DE PARTÍCULAS (DP) E POROSIDADE TOTAL (PT)

Ao analisar a densidade do solo (DS) na camada de 0-5 cm de profundidade, o sistema PAST apresentou valor superior ao observado sob cultivo de JAVA. Nas profundidades de 5-10, 10-20 e 20-30 cm não foi observada variação entre as médias dos tratamentos (Tabela 3). De acordo com GUBIANI et al. (2013), o aumento da DS promove a compactação do solo, que acarreta redução da porosidade, desequilíbrios na dinâmica da água no solo e diminuição das trocas gasosas no sistema solo-planta-atmosfera, entre outros prejuízos. Porém, os diferentes sistemas avaliados apresentaram

valores de DS inferiores aos estabelecidos como críticos por REICHERT et al. (2007) para solos argilosos, que variam de 1,30 a 1,40 g cm<sup>-3</sup>.

Tabela 3 - Densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP) e porosidade total (PT) sob diferentes sistemas de manejo e uso em Curvelo, Minas Gerais (MG).

Sistema	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
	DS(g cm <sup>-3</sup> )			
<sup>1</sup> ILPFM	1,12±0,05*ab	1,18±0,09 a	1,26±0,07 a	1,18±0,14 a
ILPFJ	1,15±0,20 ab	1,20±0,25 a	1,23±0,12 a	1,25±0,16 a
ILPF(M+J)	1,14±0,15 ab	1,19±0,19 a	1,23±0,10 a	1,19±0,12 a
MAR	1,02±0,21 ab	1,10±0,18 a	1,17±0,15 a	1,20±0,05 a
JAVA	0,98±0,06 b	1,08±0,15 a	1,16±0,14 a	1,18±0,08 a
M+J	1,06±0,12 ab	1,13±0,05 a	1,16±0,04 a	1,19±0,09 a
PAST	1,20±0,07 a	1,23±0,03 a	1,26±0,02 a	1,21±0,08 a
C.V.(%)	7,86	8,26	5,32	5,82
	DP(g cm <sup>-3</sup> )			
<sup>1</sup> ILPFM	2,37±0,12*a	2,42±0,24 a	2,36±0,03 a	2,48±0,30 a
ILPFJ	2,32±0,07 a	2,30±0,11 a	2,35±0,08 a	2,41±0,24 a
ILPF(M+J)	2,31±0,07 a	2,34±0,09 a	2,45±0,20 a	2,37±0,10 a
MAR	2,47±0,15 a	2,42±0,15 a	2,49±0,16 a	2,45±0,15 a
JAVA	2,46±0,11 a	2,49±0,21 a	2,47±0,20 a	2,46±0,08 a
M+J	2,42±0,30 a	2,42±0,19 a	2,40±0,11 a	2,42±0,12 a
PAST	2,38±0,20 a	2,45±0,12 a	2,41±0,15 a	2,41±0,12 a
C.V.(%)	4,33	4,36	3,79	4,58
	PT(%)			
<sup>1</sup> ILPFM	52,63±0,92*ab	51,20±7,85 a	46,77±2,95 a	52,29±9,45 a
ILPFJ	50,53±8,95 ab	47,62±12,63a	47,64±5,71 a	48,19±7,33 a
ILPF(M+J)	50,76±5,24 ab	49,04±7,45 a	49,68±3,93 a	49,83±5,14 a
MAR	58,68±7,83 ab	54,63±8,06 a	52,90±8,25 a	51,08±4,04 a
JAVA	60,19±3,88 a	56,46±7,83 a	52,85±6,76 a	52,31±1,72 a
M+J	56,00±9,91 ab	53,09±5,50 a	51,55±2,07 a	50,91±4,20 a
PAST	49,38±7,28 b	49,53±2,16 a	47,62±3,31 a	49,77±5,33 a
C.V.(%)	8,06	9,62	6,49	7,19

<sup>1</sup>Sistemas: ILPF M = Eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; ILPF J = Eucalipto consorciado com milho e java; ILPF (J+M) = Eucalipto consorciado com milho, capim-marandu e java; MAR = monocultivo de capim-marandu; JAVA = monocultivo de java; J+M = consórcio de marandu com java; PAST = Pastagem em processo de degradação. C.V. = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*Intervalo de confiança.

Um dos motivos para o aumento da DS segundo CARVALHO et al. (2015) deve-se ao pisoteio de animais, o que justifica os resultados obtidos para a PAST, uma vez que nesta área houve o pastejo extensivo de bovinos ao longo de duas décadas. Além disso, como neste tratamento não houve manejo do sistema, como reposição de nutrientes e ressemeadura periódica da pastagem, foi possível verificar visualmente uma menor produção de biomassa vegetal, o que contribui para um possível aumento da DS. De acordo com FERREIRA et al. (2010), a utilização do pastejo extensivo aliado à ausência de tempo de regeneração das forrageiras pós-pastejo cessa gradativamente a capacidade de produção do pasto, levando à redução do desenvolvimento da parte aérea e radicular.

Esse processo promove desequilíbrios na ciclagem de nutrientes e na adição de matéria orgânica ao solo, resultando na degradação física do sistema.

Menores valores de DS observados no sistema JAVA (0-5 cm) possivelmente foi proporcionado pela melhor estruturação e capacidade de resiliência do solo favorecida pelo cultivo da leguminosa java, a qual também é usada como cobertura vegetal do solo (SILVA et al. 2007; ASSIS et al. 2015). As espécies pertencentes à família *Fabaceae* como a java, desempenham importantes funções como plantas de cobertura, adubação verde, em culturas consorciadas e também na recuperação de solos degradados, uma vez que também podem contribuir com a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (PEQUENO et al. 2002).

A densidade de partículas (DP) não variou entre os sistemas nas profundidades avaliadas (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por LOSS et al. (2014) ao avaliarem os atributos físicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril localizados no município de Santa Teresa (Espírito Santo) em Latossolo Vermelho de textura argilosa. Segundo BRADY & WEIL (2013), este parâmetro está relacionado ao material de origem, tendo as diferentes classes de solo densidades específicas, encontrando-se valores entre 2,60 e 2,75 g cm<sup>-3</sup> para o quartzo, feldspato e silicatos coloidais. Entretanto, de acordo com SILVA et al. (2014), elevados teores de material orgânico podem resultar em densidades reais inferiores a 1,20 g cm<sup>-3</sup>, uma vez que a presença de poros nas estruturas das partículas orgânicas tende a reduzir a densidade destes compostos (SANTOS et al. 2017).

A porosidade total (PT) apresentou-se maior no sistema JAVA quando comparada ao sistema PAST na camada superficial (0-5 cm). Nas demais profundidades não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Tabela 3). Este resultado pode estar associado ao menor valor de densidade obtido sob cultivo de java. A densidade e a porosidade estão correlacionadas, respectivamente, positivamente e negativamente com a compactação do solo, assim o volume total dos poros apresenta correlação negativa com a densidade. Como observado no presente estudo, ASSIS et al. (2015) afirmam que as práticas de manejo como aração e gradagem, realizadas anteriormente à implantação dos sistemas agrícolas, visando o estabelecimento de condições físicas adequadas ao cultivo de diferentes espécies e a adição de material orgânico ao solo, promovem aumento da porosidade e redução da densidade, enquanto o tráfego de máquinas e o pisoteio animal sem planejamento causam efeito contrário, reduzindo a qualidade física do solo.

A porosidade do solo exerce importante papel no desenvolvimento das plantas. A redução do valor desse atributo, pode ocasionar impactos negativos no desenvolvimento radicular das culturas, na drenagem e retenção de água, na difusão de oxigênio, entre outros processos. Segundo REICHERT et al. (2007), os organismos presentes no solo, como os besouros e as minhocas, assim como a

utilização de espécies vegetais com sistema radicular desenvolvido promovem a formação de poros biológicos que contribuem com a recuperação e manutenção da estrutura dos solos. Vale ressaltar que tais benefícios podem ser alcançados com o aumento da biodiversidade, proporcionada pela integração dos diferentes componentes dos sistemas de produção, dentre eles, o ILPF. Contudo, faz-se necessário o acompanhamento desses sistemas a curto e longo prazo para constatação de mudanças significativas na qualidade física do solo.

### 3.2 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP), DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO (DMG) E ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA)

Foram observadas diferenças entre os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) apenas na profundidade de 5-10 cm, tendo o PAST apresentado maiores valores em relação ao ILPF M (Tabela 4), resultado que pode ser atribuído ao longo período sem revolvimento do solo (20 anos) e pisoteio constante dos animais na pastagem degradada. No sistema ILPF M, a condução do manejo contribuiu com os menores valores de DMP. De acordo com BELLÉ et al. (2014), a mobilização do solo, como ocorreu antes da implantação da área experimental, é o principal fator responsável pelo seu processo de desagregação.

Tabela 4 – Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) sob diferentes sistemas de manejo e uso em Curvelo (MG).

Sistema	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
	DMP(mm)			
<sup>1</sup> ILPFM	1,96±0,25*a	2,02±0,39 b	2,38±0,42 a	2,45±0,34 a
ILPFJ	2,23±0,17 a	2,12±0,21 ab	2,44±0,32 a	2,52±0,33 a
ILPF(M+J)	2,05±0,13 a	2,11±0,54 ab	2,32±0,35 a	2,40±0,28 a
MAR	2,37±0,44 a	2,28±0,23 ab	2,39±0,41 a	2,53±0,29 a
JAVA	2,14±0,46 a	2,17±0,30 ab	2,51±0,17 a	2,62±0,20 a
M+J	2,25±0,23 a	2,27±0,38 ab	2,45±0,18 a	2,57±0,07 a
PAST	2,27±0,47 a	2,60±0,20 a	2,66±0,18 a	2,58±0,08 a
C.V(%)	9,69	9,59	7,89	6,20
	DMG(mm)			
<sup>1</sup> ILPFM	1,36±0,26*a	1,47±0,40 b	1,96±0,59 a	2,05±0,49 a
ILPFJ	1,70±0,21 a	1,57±0,31 b	2,04±0,44 a	2,16±0,50 a
ILPF(M+J)	1,46±0,15 a	1,58±0,60 b	1,84±0,45 a	1,95±0,41 a
MAR	1,89±0,62 a	1,81±0,29 ab	1,96±0,53 a	2,14±0,42 a
JAVA	1,58±0,55 a	1,63±0,39 b	2,13±0,26 a	2,30±0,32 a
M+J	1,70±0,32 a	1,78±0,45 ab	2,09±0,33 a	2,26±0,15 a
PAST	1,75±0,60 a	2,24±0,34 a	2,36±0,34 a	2,24±0,11 a
C.V(%)	16,46	14,91	13,25	10,82
	IEA (%)			
<sup>1</sup> ILPFM	89,12±3,38*a	91,31±2,49 a	94,98±3,01 a	95,82±2,00 a

ILPFJ	92,41±2,59 a	91,62±4,59 a	95,59±2,55 a	96,29±2,19 a
ILPF(M+J)	90,70±2,30 a	91,29±6,53 a	93,95±1,70 a	94,50±2,63 a
MAR	93,17±4,99 a	94,63±2,95 a	95,17±1,86 a	95,79±2,02 a
JAVA	90,46±6,21 a	92,14±3,92 a	96,63±2,78 a	96,89±2,11 a
M+J	92,14±2,56 a	93,81±2,87 a	96,67±3,35 a	97,48±2,61 a
PAST	92,27±4,10 a	95,95±3,15 a	97,13±3,66 a	96,94±1,39 a
C.V.(%)	2,73	2,71	1,83	1,42

<sup>1</sup>Sistemas: ILPF M = Eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; ILPF J = Eucalipto consorciado com milho e java; ILPF (J+M) = Eucalipto consorciado com milho, capim-marandu e java; MAR = monocultivo de capim-marandu; JAVA = monocultivo de java; J+M = consórcio de marandu com java; PAST = Pastagem em processo de degradação. C.V. = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*Intervalo de confiança.

Os padrões de resposta do diâmetro médio geométrico (DMG) foram similares aos observados para o DMP (Tabela 4). Houve diferença significativa entre os tratamentos apenas na camada de 5-10 cm de profundidade, tendo o PAST apresentado maior DMG comparativamente ao JAVA, ILPF J+M, ILPF J e ILPF M. Resultados semelhantes foram obtidos por BEUTLER et al. (2016), que obtiveram valor de DMG inferior em um sistema de integração lavoura-pecuária de 13 anos em relação a uma pastagem cultivada em monocultivo por 15 anos.

Outros estudos têm mostrado resultados favoráveis quanto à estabilidade física do solo sob sistemas de produção integrada. LOSS et al. (2011) encontraram aumento da agregação do solo em sistema agropastoril implantado em um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa em Montividiu (Goiás). Outro estudo desenvolvido por LOSS et al. (2014) também observou maior DMP dos agregados em sistema de integração silvipastoril quando comparado com lavoura em monocultivo.

O índice de estabilidade de agregados (IEA) não apresentou variação entre os sistemas nas profundidades avaliadas (Tabela 4), demonstrando menor sensibilidade às alterações de uso e manejo em relação aos atributos DS, PT, DMP e DMG. De acordo com SILVA et al. (2014), a granulometria do solo está diretamente relacionada com os processos de estabilização e da agregação, ocorrendo aumento da agregação em solos com maiores teores de argila, já que há maior aproximação entre as partículas do solo através de cargas eletrostáticas, proporcionando de forma direta ligações e formação de agregados. Dessa forma, justificam-se os elevados valores de IEA observados no presente estudo, uma vez que a textura do solo, na camada de 0-30 cm de profundidade, foi de 656,0 g kg<sup>-1</sup> de argila, 249,2 g kg<sup>-1</sup> de silte e 94,8 g kg<sup>-1</sup> de areia, sendo classificado como argiloso (Tabela 1).

**4 CONCLUSÕES**

A conversão de pastagem para o cultivo de java promoveu rápida resposta na diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total nas camadas superficiais do solo.

Os indicadores de qualidade física do solo mais responsivos às alterações de uso e manejo do solo nos anos iniciais de plantio foram DA, PT, DMP e DMG.

Avaliações de longo prazo são necessárias para possível detecção de alterações nos sistemas de manejo conservacionistas adotados na área experimental avaliada.

**REFERÊNCIAS**

ALVAREZ VH et al. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO AC. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa. p. 25-32.

ASSIS PCR et al. 2015. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 19:309-316.  
< <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>>.

BELLÉ MP et al. 2014. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 18:551-558.  
< <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000500013>>.

BEUTLER SJ et al. 2016. Edaphic attributes of a crop-livestock system in the Cerrado Biome. Revista Caatinga 29:892-900.  
< <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n414rc>>.

BOGNOLA IA et al. 2010. Influência de propriedade físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus Taeda*. Pesquisa Florestal Brasileira 30:37-49.

BRADY NC & WEIL RR. 2013. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman.

CARVALHO RP et al. 2015. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Caatinga 28:148-159.

CORDEIRO LAM et al. 2015. Integração Lavoura-Pecuária e integração Lavoura-Pecuária-Floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. Cadernos de Ciência & Tecnologia 32:15-43.

CORVALAN C et al. 2005. Millennium ecosystem assessment - Ecosystem and human well-being: Health Synthesis. Washington: Island Press.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro.

FREITAS IC. 2016. Atributos físicos, químicos e estoques de carbono e nitrogênio do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo na mesorregião central mineira. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Montes Claros: UFMG. 104p.

FERREIRA RRM et al. 2010. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. *Semina: Ciências Agrárias* 31:913-932.

GUBIANI PI et al. 2013. Indicadores hídricos-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 37:1-10.  
< <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100001>>.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2016. BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 out. 2016

KEMPER WD & CHEPIL WS. 1965. Size distribution of aggregates. *Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. American Society of Agronomy 9:499-510.

LOSS A et al. 2014. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. *Bioscience Journal* 30:1347-1357.

LOSS A et al. 2011. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração Lavoura-Pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:1269-1276.<  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>>.

MORAES MH et al. 2001. Qualidade física do solo: métodos de estudo: sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: Funep.

PEQUENO PLL et al. 2002. Benefícios do uso de leguminosas em solos com atividade alta de argila. Disponível em: [http://www.arvore.com.br/artigos/htm\\_2002/ar0608\\_1.htm](http://www.arvore.com.br/artigos/htm_2002/ar0608_1.htm). Acesso em: 15 jan. 2018.

QUEIROZ JF et al. 2017. Modelagem econômica de sistemas agroflorestais pecuários com ênfase na produção animal no bioma Amazônia. *Revista Agroecossistemas* 9:243-250.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 10 mai. 2016.

REICHERT JM et al. 2007. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo* 5:49-134.

SANTOS CH et al. 2017. Propriedades físicas de um argissolo após fertirrigação com vinhaça e sistemas de colheita da cana de açúcar. *Colloquium Agrariae* 13:58-66.  
< DOI: 10.5747/ca.2017.v13.n3.a174>.

STEFANOSKI DC et al. 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17:1301-1309.  
< <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>>.

SILVA AH et al. 2007. Aplicação de corretivos e fertilizantes para recuperação de áreas degradadas utilizando macrotyloma axillare como cobertura vegetal no norte de minas gerais. Revista Caminhos de Geografia 8:105-115.

SILVA RC et al. 2014. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea no nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 38:26-38.  
< <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100003>>.

SILVA AS et al. 2014. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. Ciência Rural 44:1783-1789.  
< <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr2013078>>.