

Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP

Maria Luiza Franceschi Nicodemo¹, Wander Luis Barbosa Borges², Isabela Malaquias Dalto de Souza³

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: marialuiza.nicodemo@embrapa.br (ORCID: 0000-0003-0569-231X)

² Instituto Agronômico de Campinas, Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, Votuporanga, SP, Brasil. E-mail: wanderborges@iac.sp.gov.br (ORCID: 0000-0002-3804-1401)

³ Instituto Agronômico-IAC, Centro Avançado de Pesquisa de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, Araras, SP, Brasil. E-mail: isadalto@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-6343-9083)

RESUMO: O trabalho teve como objetivo de avaliar o efeito de quatro sistemas de uso da terra: dois sistemas agroflorestais (sistema silviagrícola e sistema silvipastoril), pastagem solteira de *Urochloa decumbens* e mata nativa, sobre as características físicas do solo, em São Carlos, SP. Foram analisadas a densidade de solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, e a estabilidade de agregados, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m, no ano de 2015. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados foram submetidos ao teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Foi aplicada a análise multivariada utilizando o método de Ward e a distância Euclideana com variáveis padronizadas. Constatou-se que o solo sob mata nativa apresenta melhores condições físicas que as áreas com as demais formas de uso da terra. As características físicas do solo nos sistemas agroflorestais não variaram em função da distância da faixa de árvores. A pastagem solteira apresentou compactação do solo na camada de 0-0,40 m. Considerando o conjunto de variáveis estudadas, foi possível separar três grupos, por similaridade do conjunto de atributos físicos do solo: (1) mata, (2) sistema silviagrícola e (3) aquele formado pela pastagem solteira e pelo sistema silvipastoril.

Palavras-chave: porosidade do solo; sistema silviagrícola; sistema silvipastoril.

Physical soil attributes in four land use systems at São Carlos County, São Paulo State, Brazil

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the effect of four land use systems: two agroforestry systems (agrisilviculture and silvopastoral system), single pasture of *Urochloa decumbens* and native forest, on the physical characteristics of the soil, in São Carlos, SP, Brazil. Soil density, macroporosity, microporosity and total porosity, and the stability of aggregates, in the layers of 0-0.05, 0.05-0.20 and 0.20-0.40 m, we were analyzed in the year 2015. The experimental design was a completely randomized design with four replications. The data were submitted to the F test and the means were compared by the Tukey test. The multivariate analysis was applied using the Ward method and the Euclidean distance with standardized variables. It was verified that the soil under native forest presents better physical conditions than the areas with other forms of land use. The physical characteristics of the soil in the agroforestry systems did not vary according to the distance of the trees. The conventional pasture presented soil compaction in the 0-0.40 m layer. Considering the set of variables studied, it was possible to separate three groups, by similarity of the set of physical attributes of the soil: (1) secondary native forest, (2) agrisilviculture and (3) that formed by conventional pasture and silvopastoral system.

Key words: soil porosity; agrisilviculture; silvopastoral system

Introdução

O estudo da variação dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo (Silveira et al., 2011). Esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um sistema de manejo determinado (Reichert et al., 2009).

As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados, provocados pelo mau-uso do solo, se expressam como aumento da compactação, redução da porosidade e da infiltração de água no solo, comprometendo o crescimento radicular, a utilização de água e de nutrientes do solo, e reduzindo assim a produtividade das culturas agrícolas (Garcia & Rosolem, 2010). Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura e a agregação estão entre os parâmetros mais sensíveis ao manejo (Stone & Schlegel, 2010; Tavares Filho et al., 2010). A estabilidade de agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado (Bonini & Alves, 2011).

Com o aumento da demanda por alimentos e a evolução tecnológica na produção, a atividade agrícola moderna passou a se caracterizar por sistemas padronizados e simplificados de monocultura. Esse modelo de produção agropecuária predomina nas propriedades rurais em todo o mundo, entretanto, tem mostrado sinais de saturação, em virtude da elevada demanda por energia e por recursos naturais que o caracteriza (Balbino et al., 2011a).

No caso de pastagens, segundo Bravin & Oliveira (2014), uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas é a implantação de diferentes modelos de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). De acordo com Balbino et al. (2011b), “os sistemas de integração podem ser classificados em quatro modalidades distintas: integração lavoura-pecuária (ILP) ou agropastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; integração pecuária-floresta (IPF) ou silvipastoril, sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio; integração lavoura-floresta (ILF) ou silviagrícola, sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes); integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.”

A adoção de sistemas de produção arborizados está se ampliando no Brasil (Balbino et al., 2011b), no entanto há pouca informação a respeito das alterações nos atributos físicos do solo.

Considerando o potencial de recuperação da qualidade do solo por sistemas agroflorestais, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de quatro

formas de uso da terra sobre a variação de atributos físicos de Latossolos em uma região de tensão ecológica Cerrado-Mata Atlântica, em São Carlos, SP.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em São Carlos, SP (latitude 22°1' sul e longitude 47°53' oeste). O clima de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é do tipo Cwa-Awa, com duas estações bem definidas: seca, de abril a setembro, e chuvosa, de outubro a março. A temperatura média anual é de 21,2 °C. A umidade relativa média anual do ar é de 75,6%. O relevo da região é suave - ondulado, com declives de 3% a 5%, e altitude média de 860 m.

Foram avaliadas quatro diferentes formas de uso da terra: dois sistemas agroflorestais (sistema silviagrícola e sistema silvipastoril, localizados em áreas contíguas), pastagem solteira convencional e mata nativa. O sistema silvipastoril (SSP) foi estabelecido em dezembro de 2007, com o plantio de 4519 mudas de árvores em uma área formada por *Urochloa decumbens* em Latossolo Vermelho (Embrapa, 2013) de textura média (0,699 kg kg⁻¹ de areia, 0,232 kg kg⁻¹ de argila e 0,069 kg kg⁻¹ de silte). As árvores foram plantadas em renques de três linhas, distanciados a 17 m entre si, acompanhando o nível do terreno e com distâncias entre árvores no renque de 2,5 m x 2,5 m, resultando em 600 árvores ha⁻¹. Na linha central do renque foram testadas as seguintes espécies florestais: angico-branco (*Anadenanthera colubrina*); canafístula (*Peltophorum dubium*); ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*); jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). Para tutoramento destas espécies, foram plantadas duas linhas marginais de mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e de capixingui (*Croton floribundus*). As mudas foram consideradas aptas para plantio no campo quando atingiram tamanho de 0,15 m a 0,2 m para tubetes de 0,056 L (capixingui e mutambo) e de 0,2 m a 0,4 m para tubetes de 0,290 L (espécies da linha central), tendo um sistema radicular bem formado. As linhas de plantio das árvores foram subsoladas e sulcos de 0,3 m de profundidade foram abertos com sulcador de cana. Nas covas das árvores ao plantio foram aplicados 0,03 kg de calcário dolomítico, 0,1 kg do adubo formulado 08-28-16 e 0,01 kg de FTE BR12. As mudas foram plantadas com 0,002 kg de condicionador de solo (gel de poliácridamida) dissolvidos em 0,5 L de água por cova, para minimizar a necessidade de irrigação caso houvesse veranico. O herbicida glifosato foi aplicado para dessecação do capim 15 dias antes do plantio das mudas nas faixas do pasto. Os tratos culturais envolveram o combate às formigas cortadeiras, roçada do capim nas faixas de árvores e coroamento das mudas, a fim de minimizar a competição das invasoras. Em novembro de 2008 as árvores receberam 0,1 g do adubo formulado 08-28-16 na coroa e em março de 2009 receberam 0,05 kg de sulfato de amônio planta⁻¹. As faixas com as árvores permaneceram protegidas do gado por cerca elétrica durante todo o período experimental. A pastagem entre as

faixas de árvores no SSP recebeu anualmente uma adubação de manutenção.

O sistema silviagrícola foi implantado em uma área dominada por *U. decumbens* em Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013) de textura média (0,714 kg kg⁻¹ de areia, 0,231 kg kg⁻¹ de argila e 0,055 kg kg⁻¹ de silte), em janeiro de 2008. Um total de 2414 mudas de árvores foi plantado em janeiro de 2008, em sequência ao plantio do SSP. O desenho experimental foi análogo aquele utilizado no SSP, com renques de árvores compostos de três linhas de árvores a cada 17 metros, intercalados com cultivos agrícolas. Após a análise do solo, a calagem foi feita em toda a área experimental (3,3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 75%). Para o plantio, as linhas das árvores foram subsoladas e sulcos de 0,3 m de profundidade foram abertos com sulcador de cana. Nas covas das árvores ao plantio foram aplicados 0,1 kg do adubo formulado 08-28-16 e 0,01 kg de FTE BR12, juntamente com 0,002 g de condicionador de solo (gel de poliacrilamida) em 0,5 L de água. As árvores foram adubadas nos primeiros dezoito meses, seguindo o mesmo manejo de SSP e recebendo os mesmos tratamentos culturais. As desramas do capixingui e do mutambo foram realizadas nos dois tratamentos em outubro e novembro de 2010, 35 meses após o plantio das árvores. Os critérios para a desrama foram a conservação de pelo menos 50% da copa verde, retirando ramos abaixo do ponto em que o tronco apresentava de 0,06 a 0,08 m de diâmetro. A área agrícola sofreu preparo convencional do solo desde a implantação. Calagens e adubações foram subsidiadas por análises anuais de solo. Os cultivos agrícolas foram: sorgo forrageiro, milho forrageiro, guandu-fava-larga ou aveia-preta. Em 2012 foram desbastadas 40% das árvores das duas linhas externas de cada faixa.

A pastagem solteira convencional está coberta por *U. decumbens* implantada em Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013) há mais de dez anos. A pastagem apresenta boa cobertura do solo. No período de agosto de 2013 a julho de 2015, a oferta média de capim (matéria seca) foi de 3153±2726 kg ha⁻¹, com taxa de lotação média de 1,28 ± 0,67 UA ha⁻¹. A média ofertada de matéria seca verde foi de 1617±1998 kg ha⁻¹. O ganho de peso médio diário foi de 0,55 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

A mata nativa caracteriza-se como floresta estacional semidecídua, secundária, compreendendo um fragmento de 112 ha. Para este estudo, foi selecionada uma área da mata com Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013) de textura média (0,568 kg kg⁻¹ de areia, 0,349 kg kg⁻¹ de argila e 0,825 kg kg⁻¹ de silte). As características da mata estão descritas em Silva & Soares (2002).

Amostras de solo com estrutura preservada em anéis volumétricos de 100 cm³ (para análise de porosidade e densidade do solo), e amostras de solo com estrutura não preservada (em torrões) foram coletadas em outubro de 2015. As amostras foram coletadas em trincheiras abertas em três pontos aleatórios de cada parcela na mata e na pastagem, e a três distâncias da linha de árvores nos sistemas agroflorestais: sob a sopa (SC), a 2 m da linha de árvores (2m) e a 7,5 m da

linha de árvores (Meio), coletando-se três subamostras por parcela. Em cada trincheira a amostragem foi realizada nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, e a macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram determinadas pelo método da mesa de tensão (Embrapa, 1997). As amostras em torrões foram coletadas com auxílio de enxadão, acondicionadas em sacos de plástico e, posteriormente, secas ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram destorroados manualmente, tomando-se cuidado para não destruir os agregados. Em seguida os agregados foram tamisados em peneiras de 6 mm e 4 mm, e os agregados retidos na menor peneira foram selecionados para a análise laboratorial via úmida (Embrapa, 1997). O tamisamento via úmida foi utilizado para a determinação da distribuição das classes de agregados, utilizando-se, o aparelho preconizado por Yoder (1936), que foi calibrado para funcionar durante 10 min, com 30 oscilações por minuto. Para a separação entre as classes de agregados determinaram-se as seguintes classes: agregados > 4,0 mm (AG1); agregados entre 4,0-2,0 mm (AG2); agregados entre 2,0-1,0 mm (AG3); agregados entre 1,0-0,5 mm (AG4); agregados entre 0,5-0,25 mm (AG5) e agregados < 0,25 mm (AG6). Após ser realizada a separação das classes de agregados foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP, em mm), conforme Kemper & Chepil (1965). Para facilitar a visualização e interpretação dos dados utilizou-se apenas os resultados de agregados maiores que 2 mm, somando-se as classes de agregados AG1 e AG2.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (sistema silviagrícola, sistema silvipastoril, pastagem solteira e mata nativa) e quatro repetições. Os dados foram submetidos ao teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p≤0,05), com o uso do programa computacional Assistat (Silva & Azevedo, 2016).

Por meio de análise multivariada, os sistemas de uso da terra foram agrupados de acordo com as características avaliadas. Para tanto, foi empregada a análise de conglomerados utilizando o método de Ward e a distância Euclídea com variáveis padronizadas, com o auxílio do software Infostat (Di Rienzo et al., 2011).

Resultados e Discussão

Os sistemas de uso da terra propiciaram diferenças em relação aos atributos físicos do solo, conforme Tabelas 1, 2 e 3. Este fato pode ser parcialmente explicado pelas diferentes culturas presentes nos sistemas, pois, de acordo com Bronick & Lal (2005), o tipo de vegetação é um dos fatores considerados importantes na formação dos agregados, principalmente pela ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e, indiretamente, fornecendo nutrientes à fauna do solo. Além disso, as práticas de manejo agrícola interferem diretamente na formação dos agregados do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011), por influenciarem a dinâmica da matéria orgânica (Zanatta et al., 2007).

Tabela 1. Macroporosidade (M), microporosidade (μ), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), agregados com diâmetro maior que 2 mm (> 2 mm) e diâmetro médio ponderado (DMP), em função das formas de uso da terra, na camada de 0-0,05 m.

Formas de uso da terra	M	μ	PT	DS	> 2 mm	DMP
		$m^3 m^{-3}$		$kg dm^{-3}$	%	mm
Silviagrícola - SC	0,08	0,36 b	0,44 ab	1,42 ab	64,10 ab	4,78
Silviagrícola - 2m	0,06	0,40 ab	0,46 ab	1,37 ab	40,19 bc	5,14
Silviagrícola - Meio	0,05	0,37 b	0,42 b	1,45 ab	24,72 c	5,69
Silvipastoril - SC	0,08	0,37 b	0,45 ab	1,39 ab	89,95 a	4,99
Silvipastoril - 2m	0,02	0,36 b	0,38 b	1,61 a	81,43 a	4,95
Silvipastoril - Meio	0,05	0,36 b	0,41 b	1,44 ab	86,43 a	4,86
Pasto	0,02	0,37 b	0,40 b	1,53 a	80,15 a	4,95
Mata	0,07	0,45 a	0,52 a	1,21 b	92,82 a	5,54
DMS	0,09	0,07	0,09	0,28	32,18	1,20
CV	68,66	7,88	9,23	8,33	19,65	9,99

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2. Macroporosidade (M), microporosidade (μ), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), agregados com diâmetro maior que 2 mm (> 2 mm) e diâmetro médio ponderado (DMP), em função das formas de uso da terra, na camada de 0,05-0,20 m.

Formas de uso da terra	M	μ	PT	DS	> 2 mm	DMP
		$m^3 m^{-3}$		$kg dm^{-3}$	%	mm
Silviagrícola - SC	0,12 a	0,34 ab	0,46 ab	1,45 ab	51,75 bc	5,26 a
Silviagrícola - 2m	0,07 ab	0,42 ab	0,49 a	1,72 a	43,32 c	5,29 a
Silviagrícola - Meio	0,06 ab	0,35 ab	0,41 ab	1,56 ab	46,87 c	4,99 ab
Silvipastoril - SC	0,02 b	0,37 ab	0,38 ab	1,61 ab	44,26 c	3,15 b
Silvipastoril - 2m	0,03 b	0,34 ab	0,37 ab	1,62 ab	86,54 ab	4,70 ab
Silvipastoril - Meio	0,06 ab	0,31 b	0,38 ab	1,63 ab	82,50 ab	4,65 ab
Pasto	0,02 b	0,34 ab	0,35 b	1,67 ab	72,02 abc	4,90 ab
Mata	0,04 b	0,45 a	0,49 a	1,32 b	94,10 a	5,24 a
DMS	0,07	0,12	12,89	0,36	35,52	1,92
CV	56,96	13,90	13,20	9,73	23,29	17,17

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3. Macroporosidade (M), microporosidade (μ), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), agregados com diâmetro maior que 2 mm (> 2 mm) e diâmetro médio ponderado (DMP), em função das formas de uso da terra, na camada de 0,20-0,40 m.

Formas de uso da terra	M	μ	PT	DS	> 2 mm	DMP
		$m^3 m^{-3}$		$kg dm^{-3}$	%	mm
Silviagrícola - SC	0,10 a	0,34 bc	43,69 ab	1,49 a	60,47 abc	5,26 abc
Silviagrícola - 2m	0,08 ab	0,36 bc	44,12 ab	1,48 a	37,68 bc	5,93 a
Silviagrícola - Meio	0,07 abc	0,33 c	40,65 ab	1,55 a	36,78 c	5,56 ab
Silvipastoril - SC	0,04 bcd	0,35 bc	39,04 b	1,57 a	60,57 abc	5,11 bc
Silvipastoril - 2m	0,03 bcd	0,36 bc	39,53 b	1,56 a	67,01 ab	4,55 c
Silvipastoril - Meio	0,02 cd	0,38 b	40,29 ab	1,55 a	74,60 a	4,73 c
Pasto	0,01 d	0,36 bc	37,46 b	1,60 a	78,71 a	4,82 c
Mata	0,02 d	0,45 a	46,63 a	1,33 b	78,40 a	5,14 bc
DMS	5,23	4,66	7,01	0,14	29,57	0,71
CV	47,01	5,43	7,23	3,87	20,46	5,90

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O solo sob mata constitui um sistema não perturbado (Spera et al., 2010), protegido de ações antrópicas (Melloni et al., 2008; Moreira et al., 2011): a vegetação heterogênea apresenta uma grande quantidade e variedade de raízes superficiais e profundas e não sofreu os efeitos do trânsito de máquinas e equipamentos, como mencionaram Torres et al. (2011) e Andrade et al. (2009) avaliando situação semelhante. Neste estudo, a mata apresentou consistentemente valores mais próximos daqueles recomendados (microporosidade (μ) > 0,33 (Azevedo & Dalmolin (2006); porosidade total (PT)

> 0,50 (Azevedo & Dalmolin (2006); e densidade do solo (DS) < 1,0 $g cm^{-3}$ (Goedert, 2005)), para os atributos estudados: mais altos valores de microporosidade e porosidade total e menor densidade do solo, nas três camadas avaliadas, e, também valores dentre os mais elevados para porcentagem de agregados maiores que 2 mm e diâmetro médio ponderado na camada de 0-0,20 m.

As melhores condições físicas na área sob mata são proporcionadas pela presença de folhas e ramos sobre o solo que, ao se decomporem, aumentam os teores de matéria

orgânica, proporcionando uma redução na densidade, devido a melhor estruturação do solo com sua adição (Bonini & Alves, 2011; Dalchiavon et al., 2013; Zaninetti et al., 2016), e pelos diferentes sistemas radiculares das espécies presentes na área, pois a colonização do perfil do solo pelas raízes é uma maneira de incrementar a matéria orgânica em profundidade, melhorando a estrutura e criando bioporos (Calonego & Rosolem, 2010).

A pastagem (Latossolo-Vermelho) apresentou menor macroporosidade ao longo do perfil analisado e menor porosidade total na camada de 0,05-0,40 m, provocados, em parte, pelo pisoteio dos animais (Lanzanova et al., 2007; Schiavo & Colodro, 2012), o que pode comprometer a qualidade física da camada superficial do solo, que passa a apresentar aumento da densidade e redução da porosidade (Giarola et al., 2007). Tarrá et al. (2010) observaram que o volume dos macroporos do solo diminuiu significativamente com o aumento no tempo de uso das áreas como pastagens, principalmente na camada do solo até 0,05 m de profundidade, mais diretamente afetada pelo pisoteio animal. No presente estudo, contudo, a macroporosidade foi reduzida de forma semelhante entre as diversas profundidades estudadas. Essa pastagem foi mantida sob manejo extensivo, sem adubação de manutenção, até dezembro de 2013, quando a área foi piqueteada e passou a ser conduzida sob pastejo rotacionado, representando, então, uma pastagem em recuperação.

Reduções de microporosidade prejudicam o armazenamento de água no solo e o seu aumento pode indicar compactação do solo quando associado à diminuição da macroporosidade (Fonseca et al., 2007). Somente o sistema silvipastoril, Latossolo Vermelho, na posição do meio do piquete, na profundidade 0,05-0,20 m, apresentou valores de microporosidade inferior a $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Agregando os dados por uso da terra, observa-se que todas as áreas apresentaram valores de microporos entre 36,19 (pastagem solteira) e $45,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (mata nativa).

Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjo de suas partículas, com diminuição no tamanho dos poros, especialmente nos macroporos, o que leva à redução da infiltração. Valores de macroporos inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ limitam o crescimento radicular, devido à baixa aeração e ao aumento da resistência à penetração (Vomocil & Flocker, 1961). Somente o sistema silviagrícola, na posição sob a copa, propiciou macroporosidade superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Esse resultado é surpreendente: (a) não é possível explicar porque o desempenho foi superior ao observado na mata, que recebe elevada deposição de matéria orgânica, e não sofre os impactos do maquinário agrícola; e (b) a área sob a copa no sistema silvipastoril tem manejo similar ao sistema silviagrícola: ambos não sofrem intervenção direta de máquinas e de implementos agrícolas e apenas recentemente foi permitido acesso de animais na faixa de árvores no sistema silvipastoril (a partir de outubro de 2015).

As posições ao longo do transecto linear (sob a copa, a 2 m das árvores e ao meio) não diferiram entre si dentro de cada

sistema agroflorestal (silviagrícola e silvipastoril) em relação à porosidade, densidade do solo e diâmetro médio ponderado. No entanto, a porcentagem de agregados maiores que 2 mm na posição ao meio do sistema silviagrícola foi menor que na posição sob a copa, possivelmente devido ao preparo do solo de forma convencional utilizado anualmente. Nos sistemas convencionais de preparo do solo há interrupção da continuidade dos macro e microporos (Olibone et al., 2010). Não houve, também, variação significativa dos atributos físicos analisados ao longo do perfil do solo dentro de cada sistema de uso da terra.

A macroporosidade foi o parâmetro mais sensível às alterações proporcionadas pelos diferentes sistemas ao longo do perfil e ao longo do transecto. Por outro lado, a microporosidade foi o parâmetro que menos sofreu alterações. Bonini et al. (2015) enfatizaram que a microporosidade do solo é um atributo pouco influenciado pelo manejo do solo; a macroporosidade é afetada diretamente pela degradação ou melhoria da estrutura do solo, e as alterações na microporosidade estão mais relacionadas a sua textura.

Considerando os atributos físicos em conjunto, por meio da análise multivariada, o sistema silvipastoril e a pastagem solteira apresentaram características semelhantes, diferentes da mata e do sistema silviagrícola. Estes também diferiram entre si (Figura 1). Considerando a profundidade total, de 0-0,40 m, a mata apresentou maior macroporosidade, microporosidade e porosidade total e menor densidade que a pastagem. Enquanto o sistema silvipastoril apresentou valores semelhantes à pastagem para todas essas variáveis, o sistema silviagrícola ficou em posição intermediária: foi semelhante à mata para macroporosidade, porosidade total e densidade, e semelhante à pastagem e ao sistema silvipastoril em relação à microporosidade, porosidade total e densidade. Esse resultado é de certa maneira surpreendente, pois se esperava melhor desempenho do sistema silvipastoril. Loss et al. (2014) relataram melhorias nas características físicas (elevação no volume total de poros

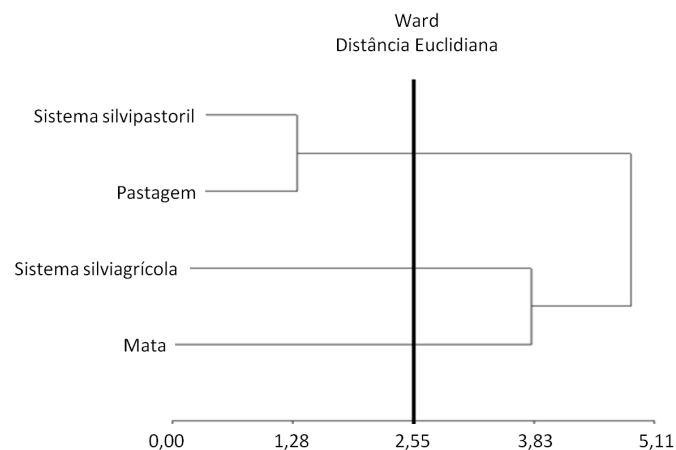


Figura 1. Agrupamento dos sistemas de uso da terra por análise de conglomerados, utilizando o método de Ward e a distância Euclidiana.

e no diâmetro médio ponderado dos agregados e redução na densidade) do solo cinco anos após a implantação do sistema silvipastoril, comparada a área de lavoura e de pastagem solteira.

Já o sistema silviagrícola foi implantado em área ocupada por pastagem semelhante àquela utilizada para implantação do sistema silvipastoril, e apresentou características físicas mais semelhantes às da mata, ainda que fosse utilizado manejo convencional de preparo de solo. Essa área foi gradeada e arada com frequência semestral, enquanto a pastagem recebeu apenas correção anual (calagem e adubação com NPK). Nem sempre esses efeitos deletérios são observados, pois variação das condições do solo no momento das operações de preparo pode minimizá-los (Ralisch et al., 2008).

Todos os solos estudados são classificados como Latossolos, de modo que a estrutura física é praticamente a mesma. Só se houvesse grande variação na granulometria - o que não é o caso - poderia haver diferenças em relação à porosidade. Portanto consideramos justificado atribuir as diferenças observadas aos diferentes usos do solo.

Em resumo: a introdução de árvores na pastagem não garantiu a recuperação, a médio prazo, dos atributos físicos do solo, ainda que o manejo dos animais atendesse às recomendações zootécnicas, respeitando a taxa de lotação adequada e a pastagem recebesse adubação de reposição. O sistema silviagrícola, por outro lado, mostrou características físicas do solo superiores à pastagem solteira, indicando o potencial desse sistema para produção agrícola compatível com conservação ambiental. A adoção do sistema silviagrícola em associação ao sistema de semeadura direta pode ter um resultado ainda melhor em termos de conservação do solo. O preparo convencional do solo, por outro lado, provoca poda periódica das raízes das árvores, que pode minimizar o efeito da competição entre árvores e cultivos anuais.

Conclusões

O solo sob mata nativa apresentou melhores condições físicas que as demais formas de uso da terra. O solo sob sistema silviagrícola mostrou características físicas intermediárias, enquanto o sistema silvipastoril e a pastagem convencional podem ser considerados semelhantes.

A pastagem solteira apresentou compactação do solo na camada de 0-0,40 m.

As características físicas do solo nos sistemas agrofloretais não variaram em função da distância da faixa de árvores.

Literatura Citada

- Andrade, R.S.; Stone, L.F.; Silveira, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.4, p.411-418, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>.
- Azevedo, A.C.; Dalmolin, R.S.D. Solos e ambiente: uma introdução. 2.ed. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100p.
- Balbino, L.C.; Barcellos, A. de O.; Stone, L.F. (Eds.). Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: Embrapa, 2011b. 130 p.
- Balbino, L.C.; Cordeiro, L.A.M.; Porfírio-da-Silva, V.; Moraes, A.; Martinez, G.B.; Alvarenga, R.C.; Kichel, A.N.; Fontaneli, R.S.; Santos, H.P.; Franchini, J.C.; Galerani, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.i-xii, 2011a. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>.
- Bonini, C.S.B.; Alves, M.C. Estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.4, p.1263-1270, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400019>.
- Bonini, C.S.B.; Alves, M.C.; Montanari, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.10, n.1, p.34-42, 2015. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i1a4513>.
- Bravin, M.P.; Oliveira, T.K. de. Adubação nitrogenada em milho e capim-xaraés sob plantio direto e preparo convencional em sistema agrossilvipastoril. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.10, p.762-770, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001000003>.
- Bronick, C.J.; Lal, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, v.124, n.1-2, p.3-22, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.
- Calonego, J.C.; Rosolem, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. *European Journal of Agronomy*, v.33, n.3, p.242-249, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.06.002>.
- Dalchiavon, F.C.; Dal Bem, E.A.; Souza M.F.P.; Ribeiro, R.; Alves, M.C.; Colodro, G. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico degradado em resposta à aplicação de biossólidos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.2, p.205-210, 2013. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2370>.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, C.W. *InfoStat versión 2011*. Córdoba: Grupo InfoStat, FCA; Universidad Nacional de Córdoba, 2011.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Fonseca, G.C.; Carneiro, M.A.C.; Costa, A.D.; Oliveira, G.D.; Balbino, L.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, n.1, 22-30, 2007. <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/download/1861/1765>. 20 Fev. 2017.
- Garcia, R.A.; Rosolem, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.12, p.1489-1498, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200021>.

- Giarola, N.F.B.; Tormena, C.A.; Dutra, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.863-873, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500004>.
- Goedert, W.J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30., 2005, Recife. Anais. Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 1-20.
- Kemper, W.D.; Chepil, W.S. Size distribution of aggregates: In: Blake, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clark, F.E. (Eds.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- Lanzanova, M.E.; Nicoloso, R.S.; Lovato, T.; Eltz, F.L.F.; Amado, T.J.C.; Reinert, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.1131-1140, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>.
- Loss, A.; Ribeiro, E.C.; Pereira, M.G.; Costa, E.M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. *Bioscience Journal*, v.30, n.5, p.1347-1357, 2014. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22079/14978>. 17 Fev. 2017.
- Melloni, R.; Melloni, E.G.P.; Alvarenga, M.I.N.; Vieira, F.B.M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.6, p.2461-2470, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>.
- Moreira, A.; Fageria, N.K.; Garcia y Garcia, A. Soil fertility, mineral nitrogen, and microbial biomass in upland soils of the Central Amazon under different plant covers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.42, n.6, p.694-705, 2011. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.550376>.
- Olibone, D.; Encide-Olibone, A.P.; Rosolem, C.A. Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage. *Soil Use and Management*, v.26, n.4, p.485-493, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00301.x>.
- Ralisch, R.; Miranda, T.M.; Okumura, R.S.; Barbosa, G.D.C.; Guimarães, M.D.F.; Scopel, E.; Balbino, L.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, 381-384, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400008>.
- Reichert, J.M.; Kaiser, D.R.; Reinert, D.J.; Riquelme, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.3, p.310-309, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>.
- Schiavo, J.A.; Colodro, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Bragantia*, v.71, n.3, p.406-412, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000035>.
- Silva, F.A.S.; Azevedo, C.A.V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, n.39, p. 3733-3740, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>.
- Silva, L. D.; Soares, J. J. Levantamento fitossociológico em um fragmento de floresta estacional semidecídua, no município de São Carlos, SP. *Acta Botanica Brasilica*, v.16, n. 2, 205-216, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000200007>.
- Silveira P.M.; Silva J.H.; Lobo Junior M.; Cunha P.C.R. Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1170-1175, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000008>.
- Spera, S.T.; Santos, H.P.; Fontaneli, R.S.; Tomm, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura pecuária (ILP), sob plantio direto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, n.1, p.37-44, 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.926>.
- Stone, L.R.; Schlegel, A.J. Tillage and crop rotation phase effects on soil physical properties in the West-Central Great Plains. *Agronomy Journal*, v.102, n.2, p.483-491, 2010. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0123>.
- Tarrá, I.L.C.; Luizão, F.J.; Wandelli, E.V.; Teixeira, W.G.; Moraes, W.J.; Castro, J.G.D. Tempo de uso em pastagens e volume dos macroporos do solo na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, 678-683, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000600015>.
- Tavares Filho, J.; Barbosa, G.M.C.; Ribon, A.A. Atributos físicos de Latossolo distrófico psamítico sob diferentes usos agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.3, p.925-933, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300034>.
- Torres, J.L.R.; Fabian, A.J.; Pereira, M.G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.3, p.437-445, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300001>.
- Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.1, p.213-223, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>.
- Vomocil, J.A.; Flocker, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v.4, n.2, p.242-246, 1961. <https://doi.org/10.13031/2013.41066>.
- Yoder, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of America Society of Agronomy*, v.28, n.5, p.337-357, 1936. <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>.
- Zanatta, J.A.; Bayer, C.; Dieckow, J.; Vieira, F.C.B.; Mielniczuk, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil and Tillage Research*, v.94, n.2, p.510-519, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.003>.
- Zaninetti, R.A.; Moreira, A.; Moraes, L. A. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Amarelo na conversão de floresta primária para seringais na Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.9, p.1061-1068, 2016. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900005>.