

Qualidade física do solo utilizando sistema agroflorestal com base agroecológica

Melissa Alexandre Santos

Doutoranda, FEIS UNESP, Brasil.
melissa.alexandre@unesp.br

Carolina dos Santos Batista Bonini

Professora Doutora, FCAT UNESP, Brasil.
carolina.bonini@unesp.br

Vitor Corrêa de Mattos Barretto

Professor Doutor, FCAT UNESP, Brasil.
vitor.barreto@unesp.br

José Augusto Liberato de Souza

Mestrando, FEIS UNESP, Brasil.
jose.augusto-liberato-souza@unesp.br

Aline Marchetti Silva Matos

Doutoranda, FEIS UNESP, Brasil.
aline.marchetti@unesp.br

RESUMO

A agricultura que se baseia em práticas que visem a preservação da biodiversidade e em práticas ecológicas na produção de alimentos tem se tornado cada vez mais importante e viabilizada como alternativa para substituir sistemas convencionais. Sistemas agroecológicos se mostram mais eficazes quanto às demandas de segurança alimentar e nutricional, fortalecendo as mudanças nos sistemas tradicionais do setor agropecuário. Os atributos físicos, podem ser influenciados diretamente através do manejo e utilização, e devem ser estudados. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade do solo, através dos atributos físicos do solo em área manejada com sistema agroflorestal. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 4 repetições, sendo eles: T1 – área manejada com sistema agroflorestal desde 2014; T2 – área manejada com sistema agroflorestal desde 2018; T3 – área de mata nativa as margens do Rio Paraná e T4 – área de pastagem em pousio desde 2017. A condição atual do sistema mata nativa foi considerado como referência quanto a qualidade de solo, pois representa a condição natural de uso do solo. Foram avaliados os seguintes atributos do solo: estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo, textura do solo, grau de flocculação e argila dispersa em água. Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância, correlação simples e teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação de médias. Conclui-se que os sistemas agroflorestais influenciaram positivamente os atributos físicos do solo, principalmente na distribuição do tamanho de poros, agregação e flocculação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura familiar; manejo do solo; desenvolvimento sustentável.

INTRODUÇÃO

Entre as atividades que mais causam impactos ambientais a nível mundial, está a agricultura, que utiliza aproximadamente 80% da água doce disponível e também impacta diretamente os processos naturais, e quando não realizada adequadamente provoca erosões e contaminações ambientais em grande escala (FAO, 2006).

O sistema convencional de agricultura atual associa a monocultura à utilização de máquinas para o preparo de solo, tal sistema realizado de forma inadequada tem como resultado um solo com modificações negativas quanto a sua qualidade. O desmatamento e a implantação de monoculturas em grandes áreas, sem a adoção de práticas conservacionistas como a utilização de matéria orgânica e, para além disso, o uso excessivo de insumos sintéticos para adubação, correção do pH, herbicidas, entre outros, resultam na aniquilação de boa parte dos microrganismos presentes no solo, restando poucas espécies que auxiliam no equilíbrio dos nutrientes (PRIMAVESI, 2016).

O estudo da agricultura em seus mais diversos espectros, questões sociais e globais é essencial para que haja a compreensão de que o desenvolvimento é o resultado de um conjunto de fatores e que através dessas novas informações e percepções será possível almejar a verdadeira agricultura sustentável. Para isso a agroecologia tem sido utilizada como base para alcançar uma visão unidimensional dos agroecossistemas, não focando apenas nesse nicho, mas nas inter-relações humanas, ambientais, sociais, políticas, culturais e econômicas. (ALTIERI, 2012).

O solo é um dos recursos naturais essenciais para sobrevivência, uma vez que é fundamental para o ecossistema como um todo. No entanto, segundo a FAO (2015) estima-se que de todo o solo global, 33% está comprometido devido aos processos de degradação, dessa forma questões relacionadas a qualidade do solo estão cada vez mais presentes nas discussões sobre formas de mitigar e desacelerar esses processos.

Por ser um organismo vivo e complexo, o solo possui diversos componentes para realizar suas funções, como, por exemplo, a fertilidade. Sendo assim, o manejo e uso do solo podem influenciar diretamente em seus atributos, sejam físicos, químicos e biológicos. Por isso é de suma importância avaliar com frequência o efeito que o manejo ou ausência dele podem provocar em sua estrutura. Esses efeitos podem ser avaliados através de indicadores quantitativos e/ou qualitativos para determinação da qualidade do solo e assim diagnosticar o nível de sustentabilidade dos sistemas, sejam eles manejados ou naturais (KARLEN *et al.*, 1997).

Dentre os indicadores mais importantes para avaliação da saúde do solo e produtividade com base sustentável, estão os atributos físicos do solo que têm papel fundamental (RABOT *et al.*, 2018; REGELINK *et al.*, 2015).

Com o avanço dos estudos de sistemas mais sustentáveis, as discussões sobre os modelos de agricultura convencional têm levantado questionamentos e críticas por distintos grupos da sociedade em diferentes âmbitos. Enquanto ocorrem as discussões sobre os modelos convencionais, o aumento pela busca por alimentos saudáveis e produzidos de forma sustentável tem sido significativo, visando não apenas a não utilização de agrotóxicos, mas também a proteção do meio ambiente e preços acessíveis e socialmente justos (NASCIMENTO, 2012).

Diante das discussões sobre os métodos de cultivo e produção de alimentos, uma das estratégias os sistemas agroflorestais (SAF's) têm se destacado como alternativa em contramão a agricultura convencional. Como alternativa de produção, esses sistemas também tem se mostrado como possíveis mitigadores das consequências causadas pela agricultura convencional realizada de forma inadequada, além de promoverem resultados positivos quanto a qualidade do solo e ambiental, estabilidade ecológica e aproximação com a condição natural deste (LU *et al.*, 2015; TORRALBA *et al.*, 2016; PAUL *et al.*, 2017).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo através das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo, utilizando sistema agroflorestal de base agroecológica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em propriedade privada, denominada Rancho Luciana, na cidade de Panorama/SP, localizada na região do extremo oeste do Estado de São Paulo, a 286 metros de altitude, latitude 21°21'23" e longitude 51°51'35", às margens do Rio Paraná, na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul, com uma área de 1,95 hectares. O clima, segundo a classificação Köpen-Geiger é Aw (tropical com estação seca), com verão quente e chuvoso de outubro a março e inverno seco e ameno de baixa precipitação pluvial de abril a setembro. As médias anuais: temperatura 26,5°C. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de acordo Santos *et al.* (2018), textura arenosa (tabela 1).

Tabela 1. Análise de distribuição do tamanho de partículas da área. Panorama - SP, 2022.

TRATAMENTO	Argila	Areia	Silte
	(g/kg ⁻¹)		
0,00 – 0,05 m			
MATA NATIVA	38,28	905,51	56,21
SAF 2014	27,02	925,21	47,77
SAF 2018	39,75	918,43	41,82
POUSIO	30,03	926,92	43,04
0,05 – 0,10 m			
MATA NATIVA	42,74	920,96	36,30
SAF 2014	35,11	905,46	59,43
SAF 2018	34,55	918,06	47,39
POUSIO	42,73	919,84	37,44
0,10 – 0,20 m			
MATA NATIVA	42,01	913,91	44,09
SAF 2014	40,71	916,56	42,73
SAF 2018	33,41	914,59	52,00
POUSIO	35,25	927,44	37,32
0,20 – 0,40 m			
MATA NATIVA	38,82	918,81	42,37
SAF 2014	42,62	919,92	37,45
SAF 2018	47,69	909,69	42,62
POUSIO	34,10	923,17	42,73

Fonte: Santos; 2022.

A propriedade pertence à família Teruel Aires há mais de 40 anos, no qual já foram cultivadas diferentes espécies para fins comerciais, como o café e produção animal de aves e bovinos; além do uso comercial existia em baixa escala uma produção diversa de hortaliças para consumo próprio. Por muitos anos a área da propriedade baseou-se, majoritariamente, em pastagem e produção de café, onde era realizado o manejo mínimo e com baixa tecnologia. Devido à essa fase que não haviam manejos com objetivo de conservação, ocorreu a paralisação

das atividades comerciais, encerrando definitivamente o manejo do cafezal e o início do represamento do Rio Paraná, intensificando o processo de degradação da área.

Em meados de 2014, inicia-se o processo de transformação da propriedade que antes utilizava o sistema convencional e passa, em uma área menor, a empregar um modelo de agricultura sustentável, através do sistema agroflorestal (SAF). Para implantação do sistema, inicialmente foram inseridas uma diversidade de espécies frutíferas nativas, priorizando espécies da região, sendo ampliada gradativamente com plantas medicinais e culturas tradicionais, como milho, mandioca, batata doce, etc. A implantação das espécies citadas foi proposital a fim de resgatar a cultura regional e espécies pouco produzidas, com risco de extinção. O propósito principal dessa transformação foi realizar de forma sustentável a conservação do solo e da água.

A partir de janeiro de 2018, a propriedade originou o projeto Rancho Y-Íara, no qual busca a criação de uma realidade diferente da região, introduzindo agroecologia, arte e conservação e manutenção dos recursos naturais. Através da proteção e recuperação do ecossistema e da biodiversidade, a missão em preservar o meio ambiente integrando-o ao desenvolvimento social e resgate da cultura regional por meio da alimentação e vem se desenvolvendo desde então, integrando natureza e homem.

Não houveram trabalhos de pesquisa ou estudos anteriores na área para analisar as mudanças ocorridas pela transformação do sistema de manejo.

A seguir estão apresentados os dados de alguns atributos químicos do solo, em análise de fertilidade realizada em 2018 (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios dos atributos químicos do solo na área do SAF 2014, coletado em agosto de 2018, na camada de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Prof. (m)	P-resina (mg/dm ³)	MO (g/dm ³)	pH	K (mmol/dm ³)	Ca (mmol/dm ³)	Mg (mmol/dm ³)	H+Al (mmol/dm ³)
0-0,20	12	13	5,4	2	17	6	6
0,20-0,40	6	12	5,3	1	13	5	13
	Al (mmol/dm ³)	SB (mmol/dm ³)	CTC (mmol/dm ³)	V (%)	Ca/CTC (%)	Mg/CTC (%)	m (%)
0-0,20	0	25	36	69	47	17	0
0,20-0,40	0	19	32	59	41	16	0

Fonte: SANTOS, 2022

Foram selecionadas quatro áreas da propriedade, caracterizadas por diferentes usos e/ou períodos de implantação dos sistemas e manejo do solo. O delineamento experimental inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 4 repetições para as variáveis analisadas.

Os tratamentos foram os seguintes: T1 - área manejada com sistema agroflorestal **desde 2014** – cultivada com espécies arbóreas de produção: frutíferas, madeiras, além de algumas espécies utilizadas para produção de matéria orgânica que é podada e utilizada para adubação do sistema; T2 - área manejada com sistema agroflorestal **desde 2018** – cultivada com espécies arbóreas de produção: frutíferas, madeiras, além de algumas espécies utilizadas para produção de matéria orgânica que é podada e utilizada para adubação do sistema; T3 - área de mata nativa às margens do Rio Paraná e T4 - área anteriormente utilizada para pastagem mas, que está em pousio **desde 2017**.

A condição atual do sistema mata nativa (fragmento natural em processo de regeneração) foi considerado como referência quanto a qualidade física do solo, pois é uma área onde, todavia não houve nenhum estudo ou avaliação da qualidade do solo (físico, químico e/ou biológico) para que haja um comparativo com sistemas convencionais de larga escala.

As amostras foram coletadas no período de dezembro a janeiro de 2021. Os locais de amostragem foram pré-definidos e marcados para um melhor acompanhamento da área, ao decorrer do experimento.

As coletas de amostras deformadas de solo para a análise física (granulometria, floculação e argila dispersa em água), os anéis volumétricos (amostras indeformadas) para avaliação da densidade do solo e porosidade do solo e os torrões para o índice de estabilidade de agregados foram realizadas concomitantemente para as seguintes camadas: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, a fim de verificar o efeito das raízes das plantas utilizadas na área estudada.

Foram realizadas análises físicas do solo, descritas a seguir: distribuição e estabilidade de agregados em água, diâmetro médio ponderado dos agregados foi determinado pelo método de Angers & Mehuys (2000); porosidade e densidade do solo: porosidade total pela saturação do solo (volume de poros totais ocupados pela água), a macroporosidade pelo método de massa de tensão com coluna de água de 0,060 kPa, e a microporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a macroporosidade, segundo Teixeira *et al.* (2017). A densidade do solo pelo método de anel volumétrico de acordo com Teixeira *et al.* (2017); Textura do solo, grau de floculação e argila dispersa em água: o grau de floculação que é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, sendo obtida após a dispersão, desta forma indica a fração de argila que se encontra floculada, assim como o grau de estabilidade dos agregados no solo, seguindo a metodologia por Teixeira *et al.* (2017), no Manual de Métodos de Análise de Solo.

Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas em correlação simples e teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro, com auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o período de condução do experimento foi possível verificar que houve diferença entre os tratamentos para as variáveis analisadas, nas diferentes camadas estudadas. Conforme observado nos efeitos significativos dos tratamentos sobre os atributos físicos do solo nas tabelas a seguir, levando em consideração, as características texturais do solo (Tabela 1).

Porosidade e densidade do solo

Na tabela 1, estão apresentados os dados de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Em relação a macroporosidade, admitindo $m^3.m^{-3}$, houve diferença significativa nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,20-0,40m e o tratamento Mata Nativa demonstrou maior média seguida pelo SAF 2018 e 2014; e o Pousio seguido pela Mata Nativa, respectivamente. No entanto, em todas as camadas estudadas foi possível observar a

proximidade dos valores de macroporosidade, principalmente nas camadas superficiais, apresentando as maiores médias.

A presença de material vegetal e serapilheira sobre a camada superficial do solo, influenciam diretamente a atividade biológica, propiciando aumento da macroporosidade, e também o teor de matéria orgânica presente, que em conjunto ao aumento da atividade biológica, auxiliam na formação de agregados e maior diâmetro de poros, consequentemente (MANHÃES *et al.*, 2009; RITA *et al.*, 2013).

Para a área de pousio, o valor de macroporosidade foi maior na camada 0,20-0,40 m do que nas demais camadas.

De acordo com estudos realizados em diferentes classificações de solo, os resultados de macroporosidade se mostraram mais próximos ao obtido nesse estudo, demonstrando que este atributo se apresenta maior em áreas de conservação, principalmente em florestas, e quando comparadas a outros sistemas como, por exemplo, áreas de pasto em situação de degradação do solo, ou sob manejo convencional, de uso intenso do solo sendo aplicados para o cultivo anual ou perene, mostram o inverso (MELLONI *et al.*, 2008; CALGARO *et al.*, 2015; KLEIN E LIBARDI, 2002; ARAUJO *et al.*, 2004; ARGENTON *et al.*, 2005; NUNES *et al.*, 2010; GUIMARÃES *et al.*, 2014).

As camadas superficiais, de 0,00 a 0,10 m, apresentaram maiores valores de macroporosidade quando presentes em sistemas de conservação (Mata, SAF 2014 e SAF 2018), com exceção da camada de 0,05 a 0,10m onde o tratamento pousio apresentou maior média que o SAF 2014, no entanto sem diferença significativa entre ambos.

Já nas camadas mais profundas, de 0,10 a 0,20m o tratamento pousio apesar de ter apresentado menor média, ficou muito próximo aos demais tratamentos. Enquanto na camada de 0,20 a 0,40m o este mesmo tratamento obteve maior média, com diferença significativa dos demais tratamentos e o valor próximo ao apresentado pelo Mata nativa, SAF 2014 e SAF 2018 nas camadas superficiais (0,00 – 0,10m).

Em trabalho realizado por Calgareo *et al.* (2015), foram apresentados resultados semelhantes, onde a macroporosidade em sistemas florestais foi maior na camada superficial (0,00-0,10m) e menor nas subsuperficiais, inversamente ao que foi demonstrado em área de pastejo, sendo maior nas camadas subsuperficiais e menor nas superficiais, os resultados das camadas mais profundas foram atribuídos ao pisoteio animal, característica de manejo semelhante a este trabalho.

Nas camadas de 0,00 a 0,20m o tratamento Mata Nativa apresentou maiores médias para macroporosidade, sendo acompanhado pelos tratamentos com os SAF's, mostrando a capacidade desses sistemas em influenciar positivamente esse atributo, tal similaridade pode ser atribuída a presença de um alto teor de biomassa radicular das diferentes espécies, arbóreas e herbáceas, implantadas. Segundo Jackson *et al.* (1996), as espécies arbóreas apresentam biomassa de 2 a 5 kg/m² em comparação às espécies de produção agrícola e as forrageiras, que apresentam valores menores que 1,5 kg/m².

Para todos os tratamentos e camadas a macroporosidade apresentou valores maiores que 0,10 m³.m⁻³, limite crítico sugerido por Xu; Nieber e Gupta (1992) para o bom desenvolvimento vegetal.

Tabela 3. Valores do teste F, CV (%) e valores médios de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi); porosidade total do solo (Pt) e densidade do solo (Ds) dos tratamentos estudados nas camadas de solos (0-0,05; 0-05,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40m), Panorama -SP, dezembro de 2021.

TRATAMENTOS	Ma	Mi	Pt	Ds (kg.dm ⁻³)
	(m ³ .m ⁻³)			
0,00-0,05m				
MATA NATIVA	0,3272	0,1563 a	0,4835 a	1,37
SAF 2014	0,3002	0,1312 a	0,4313 ab	1,32
SAF 2018	0,3061	0,1286 a	0,4347 ab	1,36
POUSIO	0,2911	0,0727 b	0,3638 b	1,55
F trat	0,659 ^{NS}	20,820*	6,538*	3,362 ^{NS}
CV (%)	12,31	12,66	8,98	8,04
0,05-0,10m				
MATA NATIVA	0,3035 a	0,1165 a	0,3918	1,46
SAF 2014	0,2689 b	0,1128 a	0,3954	1,48
SAF 2018	0,2961 ab	0,1108 a	0,3752	1,52
POUSIO	0,2696 b	0,0841 b	0,3391	1,61
F trat	5,807*	24,651*	1,992 ^{NS}	1,909 ^{NS}
CV (%)	5,22	5,62	9,72	6,31
0,10-0,20m				
MATA NATIVA	0,3007	0,0859 a	0,3776	1,52
SAF 2014	0,3178	0,0977 a	0,3939	1,48
SAF 2018	0,3005	0,0534 b	0,3539	1,59
POUSIO	0,2985	0,0816 ab	0,3410	1,60
F trat	0,334 ^{NS}	8,034*	2,031 ^{NS}	1,339 ^{NS}
CV (%)	10,25	16,64	9,07	6,53
0,20-0,40m				
MATA NATIVA	0,2883 a	0,1177 ab	0,3613	1,57
SAF 2014	0,2106 b	0,1565 a	0,3505	1,55
SAF 2018	0,2360 ab	0,951 b	0,3283	1,62
POUSIO	0,3098 a	0,0384 c	0,3483	1,60
F trat	7,033*	15,144*	1,107 ^{NS}	0,965 ^{NS}
CV (%)	13,23	24,88	7,55	3,99

*significativo a 5% de probabilidade e NS não significativo. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Ao avaliar a microporosidade do solo, verificou-se a diferença significativa entre os tratamentos em todas as camadas analisadas, apresentando maiores médias nas camadas superficiais.

Nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m o tratamento Mata nativa apresentou maiores médias em comparação aos demais tratamentos, já nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m o tratamento que se destacou foi o SAF 2014.

Para todas as camadas analisadas, o tratamento pousio apresentou as menores médias de microporosidade, com exceção da camada de 0,10 a 0,20m que apresentou valores inferiores no tratamento SAF 2018.

Altos valores de microporosidade representam estágio de degradação do solo, sendo que a distribuição adequada de micro e macroporos, segundo Kiehl (1979), seja de $\frac{2}{3}$ de microporosidade (aproximadamente 33,5%) e $\frac{1}{3}$ de macroporosidade (aproximadamente 16,5%) dos 50% ocupados pelo espaço poroso do solo.

De acordo com Alves (2001), a modificação da macroporosidade altera tanto a microporosidade quanto a porosidade total. Uma vez iniciado o processo de degradação e desestruturação do solo, o resultado é imediato, provocando o aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade.

Como verificado por Kitamura *et al.* (2008) quando ocorre a diminuição da macroporosidade, solos degradados respondem com aumento de compactação, e esse resultado é indicado pelo aumento da densidade do solo.

Foi possível constatar nesse estudo, que os sistemas que priorizaram ações conservacionistas e a implantação de espécies arbóreas, influenciaram positivamente a microporosidade.

A soma da macro e microporosidade correspondem à porosidade total do solo, no entanto, quando apresentada em altos valores, a porosidade total não representa se o solo está em condição adequada. Dessa forma, a distribuição do tamanho de poros é uma informação extremamente importante para realizar a avaliação da qualidade estrutural do solo.

Para a porosidade total, estatisticamente houve diferença significativa apenas na camada de 0,00-0,05m; com maiores valores apresentados no tratamento Mata nativa, sendo estes valores próximos aos SAF 2014 e 2018.

Nas camadas seguintes não houve diferença estatística entre os tratamentos, mantendo os valores de 0,33 a 0,39 $m^3 \cdot m^{-3}$; destacando o tratamento SAF 2014 para as camadas de 0,05 a 0,20m e Mata nativa para camada de 0,20 a 0,40m.

O tratamento SAF 2014 apresentou menor densidade do solo para todas as camadas, com exceção da camada de 0,05 a 0,10m, apresentando menor valor no tratamento Mata nativa. Foi possível observar que houve a redução da D_s nas áreas com presença de espécies arbóreas, isso pode ser atribuído a inserção de material orgânico e conseqüentemente proximidade à condição natural do solo.

Em áreas de vegetação natural há uma grande diversidade de espécies vegetais e animais, devido a isso ocorre também a diversidade de organismos presentes no solo, contribuindo diretamente para o desenvolvimento adequado da porosidade e redução da densidade do solo (ROSSETTI; CENTURION, 2018).

Estabilidade de agregados em água

Para agregados com diâmetro de 4 mm houve diferença estatística nas camadas de 0,00-0,05m e 0,20-0,40m apresentando maiores médias nos tratamentos Pousio e SAF 2018, respectivamente.

Para os agregados com diâmetro de 2 mm houve diferença estatística apenas na camada de 0,00-0,05m, maiores médias foram apresentadas no tratamento SAF 2018 apresentou maior média em comparação aos demais tratamentos. Para as demais camadas, os tratamentos com presença de árvores apresentaram melhores resultados que o tratamento pousio.

A média de agregados com diâmetro menor que 2 mm foi predominante no tratamento Pousio, que apresentou maior valor em todas as camadas.

De acordo com Cavalcante *et al.* (2019), quando presente a cobertura presente na superfície do solo, se mostra eficaz na redução, podendo inclusive evitar o impacto das gotas de

chuva, proporcionando uma rugosidade hidráulica e diminuindo o escoamento superficial de água (HUI *et al.*, 2010; ZHAO *et al.*, 2016; CANTALICE *et al.*, 2017), a presença de cobertura, assim como a copa das árvores auxiliam na conservação da umidade no solo, propiciando um ambiente favorável à agregação desse (COSTA *et al.*, 2015).

As partículas primárias sofrem grande influência da matéria orgânica e outros agentes cimentantes que são favorecidos pelos oxihidróxidos de Fe e Al e pela forte interação com caulinita nos solos de clima tropical (SILVA; MENDONÇA, 2007). A estabilização e formação dos microagregados é realizada através de interações físico-químicas em companhia das ligações argilo-metal-húmicas (TISDALL; OADES, 1982; OADES, 1989; BASTOS *et al.*, 2005; SILVA; MENDONÇA, 2007). A desaceleração da entrada de água nos agregados auxilia na diminuição de desagregação, conseqüentemente aumentando a resistência dos agregados quando em contato com a água, isso pode ser atribuído à ação da MOS humificada (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Tabela 3. Valores do teste F, CV (%) e valores médios do diâmetro médio ponderado e diâmetro das peneiras de 4; 2; 1; 0,5; 0,25 e < 0,25 mm, dos tratamentos estudados nas camadas de solos (0-0,05; 0-05,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40m), Panorama -SP, dezembro de 2021.

TRATAMENTOS	DMP (mm)	4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm	0,25 mm	< 0,25 mm
0,00-0,05 m							
MATA NATIVA	3,562	46,620 ab	41,107 ab	1,775 b	1,292 b	1,587	7,617 b
SAF 2014	3,590	36,667 b	46,207 a	1,960 b	0,747 b	0,947	5,862 b
SAF 2018	3,410	36,550 b	51,225 a	1,537 b	1,227 b	1,490	8,132 b
POUSIO	3,232	50,045 a	20,870 b	2,802 a	2,222 a	2,312	20,987 a
F trat.	3,348 ^{NS}	5,992*	6,885*	8,661*	9,961*	3,119 ^{NS}	15,049 ^{NS}
CV (%)	5,21	13,30	25,47	18,53	18,74	20,11	23,69
0,05-0,10 m							
MATA NATIVA	3,370 b	48,525	38,682	1,382 b	0,832	1,765	8,807 b
SAF 2014	3,925 a	48,775	35,042	0,917 c	1,047	1,277	5,520 b
SAF 2018	3,447 ab	45,870	38,952	1,327 bc	1,972	2,617	9,262 b
POUSIO	3,035 b	40,070	35,042	2,742 a	2,087	2,340	17,717 a
F trat.	9,361*	1,592 ^{NS}	0,757 ^{NS}	61,460*	4,131 ^{NS}	3,711 ^{NS}	32,519*
CV (%)	6,97	14,00	13,58	12,72	22,22	21,06	17,67
0,10-0,20 m							
MATA NATIVA	3,447 a	38,875	36,927	1,772	2,132	1,412	8,677 b
SAF 2014	3,637 a	43,527	40,010	1,352	1,945	3,450	9,712 b
SAF 2018	3,182 b	39,097	38,600	1,602	2,722	3,515	22,950 b
POUSIO	2,930 c	39,190	31,157	1,780	2,160	2,770	22,950 a
F trat.	50,420*	0,517 ^{NS}	2,892 ^{NS}	0,941 ^{NS}	0,430 ^{NS}	2,892 ^{NS}	19,413*
CV (%)	2,64	15,51	12,47	25,41	25,70	27,65	21,17
0,20-0,40 m							
MATA NATIVA	3,327 a	40,377 a	41,512	1,720 a	1,722 ab	2,402 ab	12,262 b
SAF 2014	3,152 a	39,817 ab	38,777	1,227 ab	1,942 ab	4,412 a	13,825 b
SAF 2018	3,180 a	41,837 a	34,160	1,700 a	2,642 a	4,130 a	15,530 b
POUSIO	2,710 b	35,557 b	34,300	0,500 b	1,100 b	1,617 b	26,922 a
F trat.	10,388*	0,124*	2,886 ^{NS}	4,978*	4,797*	5,821*	51,225*
CV (%)	5,34	5,37	11,38	19,83	21,38	25,61	10,86

*significativo a 5% de probabilidade e NS não significativo. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Grau de Floculação e argila dispersa em água

Ao que se refere ao Grau de Floculação (GF), o valor do tratamento SAF 2018 foi maior na camada de 0,00-0,05 e 0,10-0,20m, apresentando diferença significativa não significativa, respectivamente. Enquanto para a camada de 0,05-0,10m a maior média foi do tratamento Mata nativa, não diferindo do tratamento SAF 2018.

Na camada de 0,20-0,40m o tratamento pousio apresentou maior média, não diferindo significativamente dos demais tratamentos.

Apenas para o SAF 2018, ocorreu a redução gradativa do GF entre as camadas conforme a profundidade aumentava, o que não aconteceu nos demais tratamentos como Mata nativa e pousio que houve o inverso, aumento do GF à medida que se aprofundaram as camadas.

Quanto à Argila Dispersa em Água (ADA) houve diferença significativa apenas nas primeiras camadas (0,00-0,05 e 0,05-0,10m), o tratamento pousio apresentou maiores médias. No entanto, para os tratamentos SAF 2014 e 2018, houve aumento da ADA à medida que aumentava a profundidade do solo.

Tabela 4. Valores médios do grau de floculação (%) e argila dispersa em água (%), CV (%) e teste F a 5% de probabilidade. Panorama - SP. Dezembro de 2021.

TRATAMENTO	Grau de floculação (%)			
	(0,00-0,05 m)	(0,05-0,10 m)	(0,10-0,20 m)	(0,20-0,40 m)
MATA NATIVA	60,115 b	86,637 a	80,330	60,622
SAF 2014	44,735 b	55,067 b	55,870	42,197
SAF 2018	88,150 a	83,290 a	82,145	55,502
POUSIO	48,130b	60,297 b	69,922	71,150
F TRAT	10,776*	13,027*	4,024 ^{NS}	1,617 ^{NS}
CV (%)	19,93	12,39	16,69	22,98

TRATAMENTO	Argila dispersa em água (%)			
	(0,00-0,05 m)	(0,05-0,10 m)	(0,10-0,20 m)	(0,20-0,40 m)
MATA NATIVA	14,390 ab	8,660 bc	11,670	25,730
SAF 2014	13,032 b	15,410 ab	23,732	25,305
SAF 2018	4,967 c	6,540 c	11,527	21,217
POUSIO	21,830 a	16,587 a	14,840	20,915
F TRAT	14,642*	9,721*	2,979 ^{NS}	0,258 ^{NS}
CV (%)	26,64	26,91	23,03	23,59

*significativo pelo método de Tukey (5%). Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Segundo Alleoni e Camargo (1994), valores do grau de floculação se aproximando de 100% e a argila dispersa de 0 observados no horizonte B de Latossolos oxidicos, que possuem microestruturas fortalecidas, correspondem aos dados desse estudo.

O alto teor do grau de floculação e o baixo teor de argila dispersa, são indicativos de boa estabilidade estrutural, influenciando diretamente na suscetibilidade do solo na ocorrência dos processos de compactação.

CONCLUSÕES

Com isso verificamos alguns indicadores físicos do solo:

- Para macroporosidade o tratamento pousio obteve menores valores, enquanto a densidade apresentou maiores valores, em comparação aos demais

tratamentos, nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. Sendo maior para macroporosidade e menor que o SAF 2018 quanto a densidade, apenas na camada de 0,20-0,40m. Evidenciando a influência de sistemas agroflorestais sobre esses atributos.

- A microporosidade observada foi maior em todas as camadas nos sistemas agroflorestais ou mata nativa, evidenciando o desempenho positivo do sistema radicular das espécies inseridas no sistema, destacando as espécies arbóreas.

- O DMP foi maior em todas as camadas de solo nos tratamentos com espécies arbóreas inseridas e presença de material orgânico diversificado, o que resultou em maior grau de estruturação do solo.

- A flocculação do solo indica a importância da matéria orgânica na estruturação do solo e manutenção da estrutura, nos sistemas agroflorestais.

Dessa forma, observou-se que os sistemas agroflorestais iniciados em 2014 e 2018, respectivamente, evidenciaram a proximidade à mata nativa em relação aos atributos físicos do solo. Com a geração e divulgação desse trabalho, pretende-se provar a sustentabilidade do sistema e a preservação da qualidade do solo e gerar tecnologia para a região da Nova Alta Paulista, fortalecendo e ampliando os rendimentos dos produtores familiares e transferindo tecnologias para um melhor e eficiente uso do solo.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do Norte Paulista. *Scientia Agrícola*, 1994. v.51, p.321-326.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável** / Miguel Altieri. 3ª ed. rev, ampl. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012. 400p.: il graf. Tabs.

ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP**. 2001. 83 f. Tese (Livro Docência em Solos) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. (2004) Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.337-345.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. (2005) Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p. 425-435.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p. 21-31, 2005.

CALGARO, H.F.; CAMBUIM, J.; SILVA, A.M.; ALVES, M.C.; BUZETTI, S.; MORAES, M.A.; CARVALHO, S.L.; MIRANDA, L.P.M.; MORAES, M.L.T. (2015) Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização: atributos físicos do solo. *Cultura Agrônômica*, v.24, p.327-344.

CANTALICE, J.R.B.; SILVEIRA, F.P.M.; SINGH, V.P.; SILVA, Y.J.A.B.; CAVALCANTE, D.M.; GOMES, C. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. *Catena*, v.148, p.11–116, 2017.

CAVALCANTE, D.M.; CASTRO, M.F. de; CHAVES, M.T.L.; SILVA, I.R. da; OLIVEIRA, T.S. de. Effects of rehabilitation strategies on soil aggregation, C and N 84 distribution and carbon management index in coffee cultivation in mined soil. **Ecological Indicators**, v.107, 105668, 2019.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. “**The State of World Fisheries and Aquaculture**”. Viale delle Terme di Caracalla, Rome, Italy 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/ FAO. **Status of the World's Soil Resources**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>. Acesso em: 06 jun 2022.

GUIMARÃES, G.P.; MENDONÇA, E.S.; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V. (2014) Soil aggregation and organic carbon of oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.278-287.

HUI, E.Q., HU, X., JIANG, C.B. A study of drag coefficient related with vegetation based on the flume experiment. **Journal of Hydrology**, v.22, p. 329–337, 2010.

Jackson RB, CANADEL J, EHLERINGER JR, MOONEY HA, SALA OE, SCHULZE ED (1996) A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**. 108:389-411. <http://doi.org/10.1007/BF00333714>.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 61, n. 1, p.4-10, 1997.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 405-416, 2008.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. (2002) Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867.

LU, S., WANG, F., MENGA, P., ZHANG, J. (2015): Simultaneously protecting the environment and its residents: The need to incorporate agroforestry principles into the ecological projects of China. **Ecological Indicators**, [s.l.], 57: 61-63

MANHÃES, C.M.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. (2009) Biomassa de Fauna do Solo e da Serapilheira em Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p.792-795.

MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B.M. (2008) 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, p.2461-2470.

NASCIMENTO, Warley Marcos; VIDAL, Mariane Carvalho; RESENDE, Francisco Vilela. Produção de sementes de hortaliças em sistema orgânico. In: Embrapa Hortaliças-**Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: **CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS**, 12., 2012, Mossoró, RN. Palestras... Brasília, DF: Embrapa, 2012., 2012.

NUNES, L.A.P.L.; DIAS, L.E.; JUCKSCH, I.; BARROS, N.F. (2010). Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na zona da mata de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v.26, p.71-78.

OADES, J.M. An introduction to organic matter in minerals soils. In: DIXON, J.B.; WED, S.B. (eds.). Minerals in soil environments 2 ed. Madison, **Soil Science Society of America**, 1989, p.89-160.

PAUL C., WEBER M., KNOKE T. (2017): Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. **Science of the Total Environment**, [s.l.], 587-588: 22-35.

PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio**. / Ana Primavesi. 2ª ed. rev. São Paulo: Expressão Popular, 2016, 205p.

RABOT E, WIESMEIER M, SCHLÜTER S, VOGEL HJ. Soil structure as na indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, [s. l.], v. 314, p. 122–137, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>

REGELINK IC, STOOFF CR, ROUSSEVA S, WENG L, LAIR GJ, KRAM P, NIKOLAIDIS NP, KERCHEVA M, BANWART S, COMANS RNJ. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, [s. l.], v. 247–248, p. 24–37, 2015. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.022>.

RITA, J.C.O.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; ZAIA, F.C.; NUNES, D.A.D. (2013) Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the north of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1207-1215.

ROSSETTI, K. D.V.; CENTURION, J.F. Use od S-index as a structural quality indicator for compacted Latossols cultivated with maize. **Revista Caatinga**, v.31, n.2, p.455-465, 2018.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. rev. ampli. Rio de Janeiro: Embrapa. 531p, 2018.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. de S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FERREIRA, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 275-374.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

TORRALBA, M.; FAGERHOLM, N.; BURGESS, P. J.; MORENO, G.; PLIENINGER, T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 230, p. 150-161, 2016.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction Effect on the Gas Diffusion Coefficient in Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 56, n. 6, p.1743-1750, 1992.

ZHAO, C., GAO, J., HUANG, Y., WANG, G., ZHANG, M. Effects of vegetation stems on hydraulics of overland flow under varying water discharges. **Land Degradation & Development**, v.27, p. 748–757, 2016.