10.30612/agrarian.v12i46.9669

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Fósforo em agregados biogênicos e fisiogênicos sob diferentes sistemas de manejo agroecológico

***Phosphorus in biogenic and physiogenic aggregates under different agroecological management* systems**

Octavio Vioratti Teles de Moura[1], Celeste Queiroz Rossi[2], Otávio Augusto Queiroz dos Santos[1], Marcos Gervasio Pereira[1], Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto[1], Ednaldo da Silva Araújo[3]

[1]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Solos, BE 465 km 7, Seropédica, RJ. Cep: 23897-000 – email: octavio.vioratti@gmail.com
[2] Universidade Federal do Oeste do Pará.
[3]Embrapa Agrobiologia

Recebido em: 06/04/2019 Aceito em:10/09/2019

Resumo: O objetivo desse estudo foi determinar os teores de fósforo total (PT) e de suas formas e frações (Pt-bic, Pi-bic, Po-bic, Pt-H^+, Pi-H^+, Po-H^+, Pt-OH^-, Pi-OH^- e Po-OH^-), em agregados biogênicos e fisiogênicos sob diferentes sistemas de manejo agroecológico, no município de Seropédica-RJ. Foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 0,25 x 0,20 m, em seguida foram coletados blocos de solos nas áreas amsotrais: sistema agroflorestal (SAF); café em pleno sol (C-SOL); café sombreado (C-SOM); cultivo em aleias de flemíngia/vagem (AL-FLE) e plantio direto com milho/ (PD) com 6 anos de cultivo; em 3 camadas (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) com 4 pseudorepetições em delineamento inteiramente casualizado. Após a coleta, as amostras foram submetidas a tamisação em conjunto de peneiras de 9,7 - 8,0 mm. Foram utilizados para a identificação das vias de formação os agregados retidos neste único intervalo. Estes foram examinados sob lupa e separados manualmente e classificados em: biogênicos – aqueles que apresentaram formas arredondadas; e fisiogênicos – definidos com formas angulares. O PT foi determinado via digestão sulfúrica, e as formas e frações de P foram extraídas em sequência com $NaHCO_3$, H_2SO_4 e NaOH. O PT e as suas formas e frações foram determinadas por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste de agrupamento de médias de Scott Knott ($p<0,05$). Nos agregados fisiogênicos foram verificados os maiores teores de Pt-bic, Po-bic, Pt-H^+, Pi-H^+, Po-H^+ e Po-OH^- em comparação aos agregados da via biogênica na maioria das áreas estudadas. As concentrações de P encontradas nos diferentes tipos de agregados evidenciaram o importante papel das vias de formação na avaliação da qualidade do solo e que todas as áreas avaliadas possuíam capacidade de se auto sustentar em relação à nutrição fosfatada.

Palavras-chave: Fracionamento de fósforo orgânico, sistemas conservacionistas, vias de formação dos agregados

Abstract: The objective of this study was to determine the phosphorus total levels (Pt) and its forms and fractions (Pt-bic, Pi-bic, Po-bic, Pt-H^+, Pi-H^+, Po-H^+, Pt-OH^-, Pi-OH^- e Po-OH^-), in biogenic and physicogenic aggregates under different agroecological management systems, in Seropédica-RJ. Trenches with approximate dimensions of 0.25 x 0.20 m were opened, and then soil blocks were collected in the following areas: agroforestry system (SAF); full sun coffe (C-SOL); under shading coffee (C-SOM); phlegm / pod cultivation in alleles (AL-FLE) and corn with no-till / (PD) with 6 years of cultivation, in 3 layers (0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m deeph) with 4 repetitions in completely randomized design. After collection, the samples were sieved with a set of 9.7 and 8.0 mm sieves. Aggregates retained in this range were used for identification of the formation pathways. These were examined under a magnifying glass and separated by hand and classified into biogenic and physicogenic. Total Phosphorus (TP) was determinated by sulfuric digestion, the forms and fractions of the P extracted in sequence with $NaHCO_3$, H_2SO_4 and NaOH. TP and its forms and fractions were determined by colorimetry after reduction of the phosphomolybidic complex with ascorbic acid. The results were submitted to analysis of variance with the Scott Knott grouping test at 5% probability. In the physicogenic aggregates the highest levels of Pt-bic, Po-bic, Pt-H^+, Pi-H^+, Po-H^+ and Po-OH^- were observed compared to biogenic pathway aggregates in most areas studied. P concentrations found in different types of aggregates show the importance of formation pathways in soil quality assessment and that all areas evaluated were self-sustainable in relation to phosphorus nutrition.

Keywords: Fractionation of organic phosphorus, conservatist systems; Pathways of formation of aggregates

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Introdução

As mudanças no uso e manejo das terras devido à substituição de áreas com vegetação nativa por agricultáveis promovem alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Dentre esses atributos a agregação do solo se destaca por sua notável sensibilidade e vulnerabilidade as diferentes formas de manejo. O processo de agregação do solo consiste na união das partículas unitárias (areia, silte e argila), por forças com diferentes intensidades, levando a formação de unidades estruturais denominadas agregados (Brady & Weill, 2013). A agregação é dividida em duas etapas: aproximação e cimentação das partículas, as quais ocorrem de maneira simultânea na natureza. Tanto a aproximação quanto a cimentação, são fenômenos que resultam da ação de ions e/ou moléculas oriundas de processos físicos, quimicos e/ou biológicos do solo (Ribeiro et al., 2012).

Estes processos estão relacionadas às vias de formação dos agregados, nas quais os agregados formados a partir ação dos processos físicos e químicos são denominados fisiogênicos (via fisiogênica), e biogênicos (via biogênica) quando formados por maior ação dos processos biológicos (Loss et al, 2014). A diferenciação entre fisiogênicos e biogênicos é realizada de acordo com a sua gênese, conforme padrões morfológicos (Batista et al., 2013; Loss et al., 2014) estabelecidos por Bullock et al. (1985) e posteriormente adaptados por Pulleman et al. (2005). Diversos estudos realizados com agregados formados por diferentes vias demonstram diferenças nas características químicas e físicas em agregados biogênicos quando comparados aos agregados fisiogênicos (Pulleman et al., 2005; Silva Neto et al., 2010; Batista et al, 2013; Silva Neto et al., 2016; Rossi et al., 2016; Fernandes et al., 2017; Loss et al., 2017; Margen Junior et al., 2019; Pinto et al., 2019; Melo et al., 2019).

Em geral, esses estudos tem observado que os agregados formados pela via biogênica, possuem maiores teores de nutrientes, proporcionam maior proteção física da matéria orgânica do solo (MOS) e normalmente apresentam maior estabilidade física à ação mecânica da água (Silva Neto et al., 2010), o que pode torna-los potenciais indicadores de qualidade do solo, uma vez que são sensíveis aos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Loss et al., 2014; Fernandes et al., 2017). Os efeitos das vias de formação dos agregados nas propriedades químicas, físicas e morfológicas em Latossolo Vermelho no Município de Londrina (PR) após nove contínuos anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos e/ou esterco de galinha, foram avaliados por Melo et al. (2019). Do ponto de vista químico, os autores verificaram que a agregação biogênica aumentou a disponibilidade de nutrientes, neutralizou a acidez e elevou os teores de matéria orgânica do solo (MOS).

Quanto aos aspectos físico e morfológico, os mesmos autores a partir de imagens de microtomografia computadorizada por raios-X observaram que os agregados biogênicos apresentaram maior proporção de poros com diâmetro superior a 0,10 mm, estando diretamente relacionados a atividade da fauna e crescimento do sistema radicular. Os agregados que apresentam poros maiores que 0,10 mm auxiliam na proteção física da MOS contra o ataque microbiano em solos sem perturbação antrópica (Liang et al. 2018), ajudando assim a explicar parte do incremento da matéria orgânica encontrada nos agregados biogênicos do estudo de Melo et al. (2019).

Dentre os nutrientes adsorvidos às cargas positivas na superfície especifica dos colóides minerais e/ou orgânicos nos diferentes tipos de agregados, destaca-se o fósforo (P). O fósforo total (Pt) no solo é constituído por distintas formas em diferentes graus de disponibilidade às plantas, tais como, inorgânica (Pi) e orgânica (Po), esta última, presente em resíduos de plantas, esterco e tecidos microbianos. O fracionamento químico do P representa uma aproximação dos compartimentos biológicos e geoquímicos que regulam a dinâmica do P orgânico e inorgânico no solo (Carvalho et al, 2014). Através das extrações sequenciais primeiro são obtidas as frações mais lábeis. Através dessa análise as formas inorgânicas e orgânicas podem ser quantificadas (Resende et al., 2010).

Estudos indicam que as formas de Pi são constituídas de P-residual, frações pouco lábeis e formas inorgânicas ligadas à cálcio e extraídas com resina de troca aniônica, e são as únicas formas de Pi prontamente disponível aos vegetais (Reis, 2009). Sob condições de cultivo sem a adição de fertilizantes fosfatados, o Po expressa seu caráter-fonte, já em solos originalmente com baixos teores de P, mas que receberam adubação fosfatada com

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Pi, o Po expressa seu caráter-dreno. Tal situação ocorre uma vez que a imobilização do Pi supera a mineralização do Po.

Vale ressaltar, que os diferentes tipos de agregados além de proporcionarem uma melhoria nos atributos edáficos, podem atuar como reservatório de nutrientes, em especial o P, principalmente em sistemas de manejo com baixa entrada de fertilizantes fosfatados, uma vez que o P disponível é regulado pela ciclagem do P orgânico (Nunes, 2011). Desta maneira, os agregados formados pelas diferentes vias podem possivelmente funcionar como indicadores de qualidade em áreas submetidas a diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi determinar o teor de fósforo total e das frações de fósforo inorgânico e orgânico, através do fracionamento sequencial, em agregados biogênicos e fisiogênicos provenientes de diferentes sistemas de manejo agroecológico.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), também conhecido por "Fazendinha Agroecológica do km 47". O SIPA está localizado na Embrapa Agrobiologia, no município de Seropédica-RJ, com as seguintes coordenadas: 22°45'S e 43°41'W, e altitude de 33 metros, sendo o clima da região classificado de acordo com Köppen como Aw. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, segundo Santos et al. (2013), estando localizado em área com relevo suave-ondulado, cultivado rotineiramente com oleráceas e frutíferas.

Foram escolhidas cinco áreas amostrais sob diferentes sistemas de manejo agroecológico, a saber: sistema agroflorestal (SAF) com 10 anos de implantação, cultivado com banana (*Musa sapientum* L.); palmito-jussara (*Euterpe oleracea* Mart.); cacau (*Theobroma cacao* L.); mamão (*Carica papaya* L.); guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake); urucum (*Bixa orellana* L.) e açaí (*Euterpe oleracea* Mart.); C-SOL: café (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner.), cultivado em pleno sol (C-SOL), com 15 anos de implantação; C-SOM: café (C. canephora Pierre ex Froehner) sombreado com gliricídia (*Gliricidia sepium* L.), com 15 anos de cultivo; AL-FLE: cultivo em aleias de flemíngia (*Flemingia macrophylla* (Willd.) Merr) com vagem (*Phaseolus vulgaris* var. *vulgaris*), com 10 anos de implantação; PD: Plantio direto, com milho (*Zea mays* L.) e berinjela (*Solanum melongena* L.), com 6 anos de cultivo. As áreas de café recebem anualmente adubação na cova com "bokashi" (adubo orgânico de origem vegetal e/ou animal, submetidos a processo de fermentação controlada), e a área PD recebe adubação em sulco, no momento do plantio, com esterco de curral (doses necessárias para aportes de 50 a 100 kg ha^{-1} de N) e cama de aviário em cobertura (doses entre 100 e 200 kg ha^{-1} de N).

A coleta das amostras para o estudo das vias de formação dos agregados foi realizada em maio de 2014. Em cada área amostral foram coletadas quatro pseudorepetições (blocos de solo) nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundiade, mediante abertura de trincheiras transversais às linhas de semeadura com dimensões aproximadas de 0,25 x 0,20 m. Após a coleta, as amostras foram submetidas a tamisação em conjunto de peneiras de 9,7 - 8,0 mm. Foram utilizados para a identificação das vias de formação os agregados retidos neste único intervalo. Estes foram observados sob lupa binocular e separados à mão, conforme método adaptado por Pulleman et al. (2005) a partir dos padrões morfológicos estabelecidos por Bullock et al. (1985) em: agregados biogênicos – aqueles que apresentaram formas arredondadas resultantes da passagem pelo trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo, em especial os oligochaetas (minhocas), e/ou aqueles identificados pela visualização de raízes; e agregados fisiogênicos – definidos por aqueles que apresentaram formas angulares resultantes da interação entre carbono, argila, cátios e ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Após a separação os agregados foram destorroados e passados em peneira de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). A partir da TFSA foram realizadas as análises para a determinação das formas de fósforo, caracterização química e carbono orgânico tota (COT). O fósforo total (PT) foi determinado via digestão sulfúrica (Tedesco et al., 1995). As formas (compartimentos) orgânicas, inorgânicas e totais das frações (labilidade) de fósforo lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente foram extraídas com $NaHCO_3$, H_2SO_4 e NaOH, respectivamente (Bowman, 1989; Duda, 2000). O PT e as suas formas e frações foram determinadas por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico (Teixeira et

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

al., 2017). A quantificação dos teores de Ca^{2+}, Mg^{2+}, K, Al^{3+}, H+Al, P e pH em água dos agregados foi realizada segundo Teixeira et al. (2017) e o COT foi determinado vai oxidação úmida da matéria orgânica conforme Yeomans & Bremner (1988) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e carbono orgânico total de agregados biogênicos e fisiogênicos em sistemas de manejo agroecológico nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 em Seropédica, RJ.

Sistemas	pH H_2O	COT	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+Al	S	T	K	P	V
					$cmol_c\ dm^{-3}$				mg dm^{-3}		%
Agregados Biogênicos, camada de 0,00-0,05 m											
SAF	5,9	24,6	3,0	2,0	0,0	2,4	5,3	7,7	125	42	69
C-SOL	6,0	30,7	3,1	3,6	0,0	2,1	7,4	9,5	285	35	78
C-SOM	6,0	33,7	2,8	2,7	0,0	1,7	5,6	7,3	64	25	77
AL-FLE	5,3	22,0	1,6	1,2	0,0	1,5	2,9	4,4	44	35	65
PD	6,4	15,7	1,6	1,0	0,0	0,5	2,8	3,2	56	44	86
Agregados Fisiogênicos, camada de 0,00-0,05 m											
SAF	5,9	24,5	2,6	2,8	0,0	2,4	4,7	7,0	106	36	66
C-SOL	6,2	22,7	3,5	2,3	0,0	1,8	6,4	8,1	234	46	78
C-SOM	6,0	29,7	2,5	2,2	0,0	1,3	4,8	6,1	54	27	79
AL-FLE	5,3	17,8	1,5	0,9	0,0	1,5	2,5	4,0	33	36	63
PD	6,4	13,9	1,5	1,1	0,0	0,4	2,7	3,2	54	39	86
Agregados Biogênicos, camada de 0,05-0,10 m											
SAF	6,0	21,4	1,6	2,4	0,0	2,4	5,3	7,6	481	11,5	69
C-SOL	6,3	29,5	2,4	2,2	0,0	2,0	5,6	7,6	360	7,7	74
C-SOM	6,1	21,5	2,2	2,1	0,0	1,7	4,7	6,4	143	3,8	74
AL-FLE	5,6	15,6	1,0	1,5	0,0	2,1	2,7	4,8	75	8,9	57
PD	6,5	14,7	1,2	1,4	0,0	1,0	3,2	4,2	190	3,1	76
Agregados Fisiogênicos, camada de 0,05-0,10 m											
SAF	5,9	17,9	1,8	2,1	0,0	1,8	3,9	7,4	653	11,0	72
C-SOL	6,3	24,8	2,4	2,2	0,0	1,8	3,1	7,2	310	6,2	74
C-SOM	5,9	16,7	2,3	2,0	0,0	1,7	2,5	6,7	137	3,4	73
AL-FLE	5,4	14,2	0,9	1,5	0,0	1,5	1,7	4,2	73	8,8	58
PD	6,5	12,0	1,4	1,2	0,0	0,8	1,8	4,1	162	2,5	75
Agregados Biogênicos, camada de 0,10-0,20 m											
SAF	5,6	15,0	3,1	1,9	0,0	1,6	4,0	5,6	62	25,6	71
C-SOL	6,0	15,9	3,5	1,7	0,0	1,3	4,3	5,6	124	17,5	76
C-SOM	5,7	14,7	4,1	1,5	0,0	1,7	5,5	7,2	99	4,2	76
AL-FLE	5,4	12,5	2,3	1,3	0,0	2,0	3,6	5,6	42	22,5	64
PD	6,4	10,1	2,7	1,1	0,0	0,9	3,8	4,7	128	16,1	80
Agregados Fisiogênicos, camada de 0,10-0,20 m											
SAF	5,7	12,1	3,1	1,7	0,0	1,1	4,8	5,9	54	21,3	81
C-SOL	5,6	13,7	3,0	1,6	0,0	1,3	4,6	5,9	129	16,8	77
C-SOM	5,9	13,1	3,6	1,7	0,0	1,6	4,3	5,9	92	3,0	72
AL-FLE	5,9	10,9	3,4	1,6	0,0	1,8	5,0	6,8	44	18,1	73
PD	6,1	11,1	3,6	1,7	0,0	0,9	5,3	6,2	120	20,9	85

SAF - Sistema Agroflorestal; C-SOL - Café cultivado a pleno sol; C-SOM - Café sombreado com gliricídia; AL-FLE - Cultivo em aleias de flemíngiacom vagem; PD - Plantio direto com milho e berinjela.
Fonte: Rossi et al. (2016).

Resumidamente, o método de fracionamento de P utilizado neste trabalho, trata-se de uma extração sequencial do P em amostras de 1 g de TFSA. A primeira extração foi realizada com

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

uma solução de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) 0,5 mol L^{-1} com pH 8,5. O fósforo determinado com este extrator representa a sua fração lábil (P-bic).

Já a segunda extração foi realizada na amostra de solo residual da primeira extração por meio da utilização de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4, 1,79 mol L^{-1}). Esta segunda extração representa a fração de P moderadamente lábil (P-H^+). Por fim, a terceira extração foi realizada com o uso de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L^{-1}, no solo residual da segunda extração. O P obtido desta extração representa a fração moderadamente resistente (P-OH^-) deste nutriente.

O teor de P orgânico (Po) das amostras de agregados foi estimado a partir da diferença entre o P total (Pt) e o P inorgânico (Pi) recuperados em cada extrato. O Pt foi determinado em alíquota que foi submetida à digestão com ácido perclórico, e o Pi foi determinado nos extratos não digeridos. Assim, para se obter a forma orgânica de cada extrator, subtrai-se o valor de P do extrato não digerido do valor de P do extrato digerido (Bowman, 1989).

Para todos os dados de P, em cada camada, foi feita a avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors), e homogeneidade pelo Teste de Cochran e Bartlett. Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste de agrupamento de médias de Scott Knott a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico SAEG versão 9.0 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas-UFV).

Resultados e Discussão

Os teores de P Total (PT), apresentados na Tabela 2, variaram de 465,0 a 1438,0 mg kg^{-1} na camada 0,00-0,20 m. De maneira geral, os resultados de PT apresentaram maior variabilidade entre os sistemas de manejo do que entre as vias de formação, em especial nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tabela 2. Fósforo total em agregados biogênicos e fisiogênicos, nos diferentes sistemas de manejo agroecológico e nas diferentes profundidades.

Sistemas	Profundidade (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,20	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
	P Total (PT) (mg kg^{-1})					
SAF	968 ^{NS}a	1168 ^{NS}a	932 Aa	1112 Aa	536 Ab	873 Aa
C-SOL	1290 ^{NS}a	1438 ^{NS}a	980 Aa	915 Ba	493 Aa	489 Ba
C-SOM	859 ^{NS}b	1320 ^{NS}a	919 Aa	432 Cb	351 Ba	288 Ca
AL-FLE	1144 ^{NS}a	1068 ^{NS}a	762 Aa	788 Ba	596 Aa	538 Ba
PD	941 ^{NS}a	999 ^{NS}a	465 Ba	579 Ca	529 Aa	453 Ba
CV%	21,9	18,9	12,3	14,6	14,6	14,7

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os sistemas de manejo para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada sistema de manejo avaliado (Scott knott a 5% de probabilidade) e ^{ns}Não siginificativo a 5% de probabilidade. SAF - Sistema Agroflorestal; C-SOL - Café cultivado a pleno sol; C-SOM - Café sombreado com gliricídia; AL-FLE - Cultivo em aleias de flemíngiacom vagem; PD - Plantio direto com milho e berinjela. CV - coeficiente de variação. Bio - agregados biogênicos; e Fis - agregados fisiogênicos.

Na camada de 0,00-0,05 m os resultados encontrados não foram significativos entre os sistemas de manejo agroecológico, tanto para os agregados biogênicos quanto para os fisiogênicos. Na comparação entre as vias de formação, foram verificados nos agregados fisiogênicos maiores teores de PT na área C-SOM, quando comparados aos biogênicos. Já na camada de 0,05-0,10 m, na área PD foram quantificados os menores teores de PT dentre os sistemas avaliados, para as duas vias de formação. Na área de SAF foram quantificados teores mais elevados de PT na via fiosiogênica em comparação aos demais sistemas. Quanto a comparação entre as vias de formação, somente na área de C-SOM foram observadas diferenças entre os tipos de agregados, sendo que na via biogênica foram verificados teores superiores de PT em relação a fisiogênica. Na camada de 0,10-0,20 m o sistema na área C-SOM foram observados os menores teores de PT nos dois tipos de agregados. Houve diferença entre as vias de formação somente na área SAF, na qual foram verificados os maiores teores de PT nos agregados fisiogênicos.

Em síntese, na comparação entre as vias de formação, foram observadas as principais diferenças nos resultados de PT nos sistemas C-SOM e SAF. A gênese de agregados está intimamente relacionada ao sistema de manejo adotado, em virtude do manejo podem ocorrer modoficações na agregação, por esta ser um atributo sensível à alterações no ambiente edáfico e podendo culminar também em mudanças nas vias de formação dos agregados (Pulleman et al., 2005), influenciando na manutenção dos nutrientes no solo. Em relação à composição química, em geral, os agregados formados pela via biogênica possuem concentrações mais elevadas de nutrientes, bem como, auxiliam na proteção física da matéria orgânica do solo (MOS) e alta estabilidade em meio aquoso (Silva Neto et al., 2010). Sendo possivelmente usados como potenciais indicadores na avaliação da qualidade do solo, em virtude de sua sensibilidade aos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Loss et al., 2014; Fernandes et al., 2017).

Quanto a comparação entre os sistemas de manejo, foram verificadas que as principais diferenças nos teores de PT encontravam-se na via fisiogênica para a área de SAF, em especial nas camadas subsuperficais. Sistemas manejo que favoreçam o aporte de resíduos vegetais, tem sido apontados como práticas que propiciam melhorias nas propriedades químicas, como o aproveitamento de P pelas plantas (Almeida et al., 2003) e nas propriedades físicas, por exemplo, a formação de agregados.

Estudando os teores de fósforo orgânico em SAFs no sul da Bahia, em Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Húmicos, Zaia et al. (2009), quantificaram concentrações de PT similares com o desse estudo, teores variando de 335,0 a 1289,0 mg kg^1. Essa semelhança entre os resultados obtidos pode ser decorrente do manejo empregado nas respectivas áreas dos trabalhos. Em ambos os casos a coleta foi realizada em agroecossistemas, nos quais busca-se a conciliação entre culturas de interesse econômico (café e cacau, por exemplo) e espécies nativas, a fim de minimizar a degradação dos recursos naturais provocadas pelas atividades agrícolas. Em suma, o conteúdo total de P aumenta, quando o manejo favorece o incremento de carbono (C) e com a utilização adequada de fertilizantes, e diminui em sistemas intensivos de cultivo com baixa reposição de P (Damodar Reddy et al., 2000).

Os resultados de fósforo na fração lábil (extraída com $NaHCO_3$) (P-bic) são apresentados na Tabela 3. Avaliando os resultados de fósforo na fração de maior labilidade, verificou-se que as formas de P foram mais influencidas pelos sistemas de manejo do que pelos tipos de agregados. Destacando especialmante as formas Pt-bic e Pi-bic nas duas últimas camadas avaliadas.

Na camada de 0,00-0,05 m foram observados os maiores teores de Pt-bic nas áreas de C-SOL e AL-FLE na via biogênica, entretanto para a via fisiogênica não foram verificadas diferenças entre os sistemas (Tabela 3). Na comparação entre os tipos de agregados, observou-se que os agregados fisiogênicos apresentaram teores mais elevados de Pt-bic nas áreas SAF, C-SOM e PD. Nas camadas subjacentes, no geral, foram encontrados os maiores teores de Pt-bic nas área C-SOL e AL-FLE e os menores na área C-SOM nos dois tipos de agregados. Na comparação entre as vias de formação, destaque para os agregados biogênicos das áreas SAF e PD, e fisiogênicos da área C-SOL, na qual quantificou-se maiores concentrações de Pt-bic na camada de 0,10-0,20 m.

Para a forma Pi-bic (Tabela 3), na comparação entre os sistemas de manejo na camada 0,00-0,05 m não foram observadas diferenças, tanto para a via biogênica quanto para a fisiogênica. Já nas duas últimas camadas avaliadas, para as vias de formação, destaque para os agregados biogênicos do sistema AL-FLE e fisiogênicos do sistema C-SOM, ambos apresentaram os maiores teores de Pi-bic na comparação entre os tipos de agregados. Em suma, os maiores teores de Pt-bic e Pi-bic verificados nos sistemas de manejo mencionados acima, estão associados com as práticas de adubação realizadas nestas áreas. De acordo com Bravo et al. (2007), aplicações sucessivas de adubos contendo P promovem um *pool* da labilidade do fósforo, devido aos sítios de adsorção mais ávidos por esse elemento serem gradativamente preenchidos e novas adubações aumentarem as frações mais lábeis de P (Rosset et al., 2016).

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 3. Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução de bicarbonato de sódio (bic) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nos diferentes sistemas de manejo agroecológico e profundidades.

Sistemas	Profundidade (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,20	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
	P-bic Total (Pt-bic) (mg kg^{-1})					
SAF	44,8 Bb	80,4 ^{NS}a	73,7 A ^{ns}	84,9 A ^{ns}	79,5 Aa	37,1 Bb
C-SOL	80,0 Aa	95,4 ^{NS}a	85,1 A ^{ns}	77,7 A ^{ns}	53,3 Ab	80,5 Aa
C-SOM	49,6 Bb	77,7 ^{NS}a	29,6 B ^{ns}	41,1 B ^{ns}	17,4 Ba	29,5 Ba
AL-FLE	72,2 Aa	63,3 ^{NS}a	87,6 A ^{ns}	72,2 A ^{ns}	75,1 Aa	65,0 Aa
PD	52,6 Bb	79,2 ^{NS}a	33,8 B ^{ns}	43,5 B ^{ns}	63,0 Aa	44,6 Bb
CV %	12,2	16,5	19,3	17,7	21,4	20,1
	P-bic Inorgânico (Pi-bic) (mg kg^{-1})					
SAF	28,6 ^{NS}a	33,4 ^{NS}a	61,1 Ca	70,4 Aa	65,4 Ba	31,4 Bb
C-SOL	36,0 ^{NS}a	32,2 ^{NS}a	73,5 Ba	68,5 Aa	49,4 Ca	62,8 Aa
C-SOM	36,9 ^{NS}a	31,7 ^{NS}a	17,9 Db	39,0 Ba	3,5 Db	12,2 Ba
AL-FLE	35,4 ^{NS}a	34,0 ^{NS}a	82,3 Aa	54,7 Ab	85,9 Aa	51,1 Bb
PD	33,4 ^{NS}b	42,1 ^{NS}a	24,1 Da	33,9 Ba	45,6 Ca	21,1 Ba
CV %	21,1	17,7	8,6	20,4	17,9	24,4
	P-bic Orgânico (Po-bic) (mg kg^{-1})					
SAF	29,5 Ba	46,9 ^{NS}a	15,9 $^{NS\ ns}$	14,6 $^{NS\ ns}$	14,2 ^{NS}a	6,0 Da
C-SOL	40,8 Aa	56,6 ^{NS}a	14,9 $^{NS\ ns}$	9,1 $^{NS\ ns}$	18,6 ^{NS}a	6,3 Da
C-SOM	19,4 Bb	52,7 ^{NS}a	11,7 $^{NS\ ns}$	11,1 $^{NS\ ns}$	17,2 ^{NS}a	18,9 Ba
AL-FLE	36,9 Aa	29,3 ^{NS}a	15,3 $^{NS\ ns}$	12,5 $^{NS\ ns}$	19,2 ^{NS}a	13,9 Ca
PD	22,6 Ba	37,1 ^{NS}a	9,7 $^{NS\ ns}$	12,9 $^{NS\ ns}$	11,8 ^{NS}b	23,5 Aa
CV %	25,3	20,4	24,4	24,6	22,5	14,1

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os sistemas de manejo para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada sistema de manejo avaliado (Scott knott a 5% de probabilidade) e ^{ns}Não siginificativo a 5% de probabilidade. SAF - Sistema Agroflorestal; C-SOL - Café cultivado a pleno sol; C-SOM - Café sombreado com gliricídia; AL-FLE - Cultivo em aleias de flemíngiacom vagem; PD - Plantio direto com milho e berinjela. CV - coeficiente de variação. Bio - agregados biogênicos; e Fis - agregados fisiogênicos. Pt-bic - fração de fósforo total extraído com $NaHCO_3$; Pi-bic - fração de fósforo inorgânico extraído com $NaHCO_3$; e Po-bic - fração de fósforo orgânico extraído com $NaHCO_3$.

Em relação as concentrações do compartimento Po-bic (Tabela 3), para os sistemas, só foram verificadas diferenças nas camadas de 0,00-0,05 m nos agregados biogênicos das áreas C-SOL e AL-FLE, e de 0,10-0,20 m nos agregados fisiogênicos no PD. Na comparação entre as vias de formação, para os agregados da via fisiogênica das áreas C-SOM (0,00-0,05 m) e PD (0,10-0,20 m) verificaram-se as maiores concentrações de Po-bic. Os maiores teores de Po-bic observados nos agregados fisiogênicos podem estar relacionados ao tipo de cobertura vegetal empregadas nesses sistemas. Segundo Rita et al. (2013), o tipo de cobertura vegetal e, consequentemente o aporte de MOS e nutrientes ao solo afetam diretamente a estabilidade e formação de agregados e que, em seus estudos, esses fatores em conjunto tiveram efeitos significativos nas frações lábeis de P e no teor total de P.

Além disso, os resultados referentes a comparação entre os sistemas de manejo para o compartimento Po-bic, podem ser explicados pelo conteúdo de carbono orgânico total (COT) e pelo tempo de implantação desses sistemas. Em estudo realizado nas mesmas áreas, em que foram analisadas as vias de formação de agregados, bem como suas características químicas e físicas, Rossi et al. (2016) constataram maiores teores de COT nas áreas de café, seguidos pelos sistemas AL-FLE e SAF. Evidenciando que o conteúdo de Po aumenta em sistemas em que o manejo favorece o aumento dos teores de C.

O sistema C-SOL, além de apresentar um maior tempo de implantação (15 anos), nesse ocorre a manutenção de gramíneas nas entrelinhas do café, que contribui para o aporte de carbono. Já na área AL-FLE também se verifica um manejo conservacionista com o emprego de uma

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

leguminosa arbustiva (Flemíngia) e vagem, em sistema de aleia, que também proporciona um bom aporte de carbono. Esses dados corroboram com os encontrados em estudos de Guerra et al. (1996) em Argissolos, em que os autores verificaram que os teores de Po correlacionam-se positivamente com os teores de COT.

Em resumo, a concentração de P no solo, principalmente no que diz respeito as frações mais lábeis, está diretamente associada ao COT e que a sua labilidade está relacionada à mineralização da fração orgânica na qual o íon fosfato está adsorvido e que, em solos com baixa adição de P, sua disponibilidade está relacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo (Ferreira, 2017).

Os resultados de P na fração moderadamente lábil (extraída com H_2SO_4) ($P\text{-}H^+$) disponíveis na Tabela 4, apresentaram, de maneira geral, maior variabilidade entre os sistemas de manejo em comparação as vias de formação, exceto na camada superficial, em que a forma $Po\text{-}H^+$ foi mais influencida pelos tipos de agregados.

Para área SAF observou-se os maiores teores de $Pt\text{-}H^+$ e $Pi\text{-}H^+$ nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, ambos considerando a via fisiogênica (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nos diferentes sistemas de manejo agroecológico e profundidades.

Sistemas	Profundidade (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,20	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
	$P\text{-}H^+$ Total ($Pt\text{-}H^+$) (mg kg^{-1})					
SAF	704,3 ^{NS} b	1096,7 Aa	750,6 Ab	987,2 Aa	385,0 Ab	708,5 Aa
C-SOL	1026,3 ^{NS} a	1082,9 Aa	657,1 Aa	640,2 Ba	344,5 Aa	333,2 Ba
C-SOM	666,5 ^{NS} b	1094,1 Aa	726,2 Aa	281,2 Cb	206,7 Ba	171,2 Ca
AL-FLE	695,0 ^{NS} a	845,7 Ba	584,9 Aa	655,4 Ba	416,6 Aa	397,7 Ba
PD	723,1 ^{NS} a	768,4 Ba	327,0 Ba	446,5 Ba	392,6 Aa	335,7 Ba
CV %	29,9	14,4	13,1	21,5	9,8	20,7
	$P\text{-}H^+$Inorgânico ($Pi\text{-}H^+$) (mg kg^{-1})					
SAF	270,3 ^{NS} b	319,0 ^{NS} a	348,4 Ab	580,0 Aa	331,3 Ab	604,7 Aa
C-SOL	344,9 ^{NS} a	306,5 ^{NS} a	359,7 Aa	246,6 Ba	288,5 Aa	294,6 Ba
C-SOM	354,5 ^{NS} a	341,2 ^{NS} a	217,3 Ba	141,5 Ca	172,5 Ba	139,6 Ca
AL-FLE	420,1 ^{NS} a	325,0 ^{NS} a	303,9 Aa	340,2 Ba	359,8 Aa	325,1 Ba
PD	319,0 ^{NS} b	407,7 ^{NS} a	207,9 Aa	234,6 Ba	345,5 Aa	252,8 Bb
CV %	20,9	18,8	21,8	25,5	12,5	18,1
	$P\text{-}H^+$ Orgânico ($Po\text{-}H^+$) (mg kg^{-1})					
SAF	500,7 Ab	711,0 Aa	402,2 Aa	340,5 Ba	53,8 ^{NS} a	63,8 Ba
C-SOL	681,4 Ab	876,4 Aa	430,7 Aa	493,6 Aa	56,1 ^{NS} a	41,9 Ba
C-SOM	512,0 Ab	719,5 Aa	475,6 Aa	159,7 Ab	44,1 ^{NS} a	24,9 Ba
AL-FLE	141,5 Ab	520,7 Aa	281,1 Ba	315,3 Ba	56,9 ^{NS} a	49,2 Ba
PD	404,1 Aa	394,0 Ba	72,4 Cb	212,0 Ca	60,4 ^{NS} b	96,2 Aa
CV %	24,4	16,5	25,1	26,5	25,4	21,5

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os sistemas de manejo para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada sistema de manejo avaliado (Scott knott a 5% de probabilidade) e ^{ns}Não siginificativo a 5% de probabilidade. SAF - Sistema Agroflorestal; C-SOL - Café cultivado a pleno sol; C-SOM - Café sombreado com gliricídia; AL-FLE - Cultivo em aleias de flemíngiacom vagem; PD - Plantio direto com milho e berinjela. CV - coeficiente de variação. Bio - agregados biogênicos; e Fis - agregados fisiogênicos. $Pt\text{-}H^+$ - fração de fósforo total extraído com H_2SO_4; $Pi\text{-}H^+$ - fração de fósforo inorgânico extraído com H_2SO_4; e $Po\text{-}H^+$ - fração de fósforo orgânico extraído com H_2SO_4.

Para as mesmas camadas avalidas foi verificado que a área C-SOM apresentou os menores teores de $Pt\text{-}H^+$ e $Pi\text{-}H^+$ em agregados fisiogênicos. Na comparação entre as vias de formação, foi observado que nos agregados fisiogênicos da área de SAF encontravam-se as maiores concentrações de $Pt\text{-}H^+$ e $Pi\text{-}H^+$ em relação aos biogênicos nas três camadas avaliadas. Os agregados fisiogênicos são formados a partir de processos físicos e químicos do solo (Batista et al.,

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

2013) e estão diretamente relacionados à aproximação das partículas unitárias do solo em função dos ciclos de umedecimento e secagem, e pela ação dos agentes cimentantes do solo (matéria orgânica e/ou óxi-hidróxidos de ferro e alumínio) (Batista et al., 2013; Loss et al., 2014).

Através destes resultados, pode-se inferir que os maiores teores de Pt-H^+ e Pi-H^+ encontrados nos agregados fisiogênicos do sistema SAF podem estar relacionados às práticas de adubação realizadas na área, padrão similar foi observado no compartimento Pt-bic na camada superficial. Aplicações anuais de adubos contendo P promovem primeiramente aumento nos teores de P da forma inorgânica lábil, e com o passar do tempo, esse P é adsorvido via complexo de esfera interna aos óxidos de ferro e alumínio, ocasionando aumento de Pt e Pi da fração moderadamente lábil (Souza, 2008). O P moderadamente lábil é uma importante fração de P para os sistemas de manejo do solo, especialmente para os SAFs, pois pode suprir os componentes mais lábeis e também fornecer P para os compartimentos mais estáveis (Busato et al., 2005).

Para a forma Po-H^+ (Tabela 4), foi observado que no sistema PD foram verificados os menores teores de P orgânico na camada de 0,05-0,10 m, para as duas vias de formação de agregados. Dentre os sistemas de manejo avaliados, o PD é aquele em que há maior revolvimento da camada arável, expondo mais a MOS à mineralização, o que pode explicar tais resultados. Em relação aos tipos de agregados, na via fisiogênica verificaram-se as maiores concentrações de Po-H^+ nos sistemas C-SOL, C-SOM, SAF e AL-FLE na camada superficial. De forma semelhante ao que ocorreu com o Pt-H^+ e o Pi-H^+, também foram verificados maiores teores de P no compartimento orgânico moderadamente lábil em agregados fisiogênicos.

Tais resultados podem indicar que os agregados fisiogênicos destes sistemas estão acumulando P em estruturas orgânicas mais recalcitrantes, como os ácidos húmicos. O C presente nestes ácidos é mais difícil de ser degradado pelos microorganismos edáficos, podendo adsorver o P e acumulá-lo nesta fração de P do solo (Rosset et al., 2016). Esse padrão justificaria os maiores teores de Po-H^+ nos agregados fisiogênicos destas áreas, pois de acordo com Pinto et al. (2018), o C estocado nos agregados fisiogênicos é mais recalcitrante quando comparado com o C mais lábil estocado em agregados formados pela via biogênica.

No que se refere à fração moderadamente resistente do P (extraído com solução de NaOH) (P-OH^-), os resultados são apresentados na Tabela 5. Analisando os resultados de P na fração de menor labilidade, verificou-se que as formas Pt-OH^- e Po-OH^- na camada superficial foram as mais influencidas, tanto pelos sistemas de manejo quanto pelas vias de formação.

Na camada de 0,00-0,05 m, as áreas SAF, C-SOL e C-SOM apresentaram os maiores teores de Pt-OH^- (Tabela 5), sendo SAF em agregados fisiogênicos e C-SOL e C-SOM nos dois tipos de agregados. Na mesma camada avalida, para as vias de formação, foram verificados os maiores de teores de Pt-OH^- nos agregados fisiogênicos da área SAF em comparação a via biogênica. Ainda referente as vias de formação, os agregados biogênicos do sistema C-SOL apresentaram as maiores concentrações de Pt-OH^- e Pi-OH^- na camada 0,00-0,05 m em relação aos agregados fisiogênicos. Os teores mais elevados de Pt-OH^- nos sistemas mencionados acima podem estar associados ao maior tempo de implantação dos mesmos. Sistemas mais antigos acumulam mais Pt-OH^- em virtude do maior tempo de adubação, favorecendo à adsorção especifica do Pi aos óxidos de Fe e Al.

Na camada de 0,00-0,05 m, para a forma Po-OH^- (Tabela 5), houve diferenças em função do sistema de manejo adotado e do tipo de agregado. Na comparação entre os sistemas, na área de SAF seguida pelas áreas C-SOM e C-SOL foram verificados os maiores teores de Po-OH^- nos agregados fisiogênicos e a área C-SOL em agregados biogênicos. Para as vias de formação, foi observado que os agregados da via biogênica das áreas C-SOL e PD apresentaram as maiores concentrações de Po-OH^- em comparação aos da via fisiogênica e que os agregados fisiogênicos do sistema SAF apresentaram os maiores teores de Po-OH^- em relação aos biogênicos. Os resultados de Po-OH^- encontrados podem estar relacionados principalmente com o teor de C da fração humina presente nos diferentes tipo de agregados das áreas avaliadas. O C da fração humina é mais antigo e recalcitrante, e está associado a matriz mineral do solo, podendo consequentemente adsorver e acumular parte do P do solo (Rosset et al., 2016), aumentando os teores de P na sua fração de menor labilidade.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 5. Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nos diferentes sistemas de manejo agroecológico e profundidades.

Sistemas	Profundidade (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,20	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
	P-OH⁻ Total (Pt-OH⁻) (mg kg^{-1})					
SAF	64,1 Bb	96,1 Aa	80,0 A ^{ns}	51,9 $^{NS\ ns}$	44,9 ^{NS} a	67,2 Aa
C-SOL	112,9 Aa	80,5 Ab	82,1 A ^{ns}	64,9 $^{NS\ ns}$	48,8 ^{NS} a	45,6 Ba
C-SOM	95,5 Aa	95,2 Aa	60,4 B ^{ns}	68,9 $^{NS\ ns}$	43,5 ^{NS} b	73,6 Aa
AL-FLE	79,2 Ba	66,4 Ba	61,2 B ^{ns}	49,4 $^{NS\ ns}$	57,9 ^{NS} a	54,5 Ba
PD	61,2 Ba	48,0 Ba	41,4 B ^{na}	44,8 $^{NS\ ns}$	49,5 ^{NS} a	45,4 Ba
CV %	23,6	18,8	20,8	20,0	20,6	18,7
	P-OH⁻ Inorgânico (Pi-OH⁻) (mg kg^{-1})					
SAF	15,8 Ba	11,3 ^{NS} a	25,9 $^{NS\ ns}$	26,9 $^{NS\ ns}$	29,0 ^{NS} b	42,7 Aa
C-SOL	47,7 Aa	20,2 ^{NS} b	36,1 $^{NS\ ns}$	26,5 $^{NS\ ns}$	31,8 ^{NS} a	26,2 Ba
C-SOM	15,8 Ba	10,6 ^{NS} a	28,6 $^{NS\ ns}$	27,6 $^{NS\ ns}$	19,3 ^{NS} a	25,0 Ba
AL-FLE	21,0 Ba	21,9 ^{NS} a	30,2 $^{NS\ ns}$	22,2 $^{NS\ ns}$	37,1 ^{NS} a	29,1 Ba
PD	9,1 Ba	13,2 ^{NS} a	21,4 $^{NS\ ns}$	25,7 $^{NS\ ns}$	29,3 ^{NS} a	22,3 Ba
CV %	22,8	19,7	25,4	19,0	22,1	24,7
	P-OH⁻ Orgânico (Po-OH⁻) (mg kg^{-1})					
SAF	48,2 Bb	84,8 Aa	40,8 $^{NS\ ns}$	31,6 A ^{ns}	15,9 ^{NS} b	34,5 Aa
C-SOL	101,9 Aa	60,3 Bb	46,0 $^{NS\ ns}$	38,4 A ^{ns}	17,0 ^{NS} a	19,4 Ba
C-SOM	66,4 Ba	64,6 Ba	31,8 $^{NS\ ns}$	41,4 A ^{ns}	27,6 ^{NS} b	45,2 Aa
AL-FLE	61,5 Ba	48,1 Ca	31,0 $^{NS\ ns}$	27,2 B ^{ns}	20,7 ^{NS} a	18,8 Ba
PD	54,8 Ba	34,8 Cb	20,0 $^{NS\ ns}$	19,1 B ^{ns}	20,2 ^{NS} a	24,4 Ba
CV %	26,9	13,9	27,0	20,3	26,0	22,5

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre os sistemas de manejo para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula na linha não difere entre os tipos de agregados para cada sistema de manejo avaliado (Scott knott a 5% de probabilidade) e ^{ns}Não siginifocativo a 5% de probabilidade. SAF - Sistema Agroflorestal; C-SOL - Café cultivado a pleno sol; C-SOM - Café sombreado com gliricídia; AL-FLE - Cultivo em aleias de flemíngiacom vagem; PD - Plantio direto com milho e berinjela. CV - coeficiente de variação. Bio - agregados biogênicos; e Fis - agregados fisiogênicos. Pt-OH⁻ - fração de fósforo total extraído com NaOH; Pi-OH⁻ - fração de fósforo inorgânico extraído com NaOH; e Po-OH⁻ - fração de fósforo orgânico extraído com NaOH.

De maneira geral, neste estudo os resultados do fracionamento sequencial de P nos diferentes tipos de agregados mostraram que as frações de P foram mais influenciadas pelos sistema de manejo agroecológico do que pelas vias de formação dos agregados do solo. Entretanto, as concentrações de P, principalmente as relacionadas ao Po, encontradas nos diferentes tipos de agregados podem ser consideradas satisfatórias, evidenciando o importente papel das vias de formação na avaliação da qualidade do solo. Vale ressaltar ainda, que tais resultados de Po indicam que todas as áreas avaliadas possuem capacidade de se auto sustentar no tocante à nutrição fosfatada, o que reduz a demanda por insumos externos, refletindo o sucesso das práticas agroecológicas.

Conclusões

Os teores de PT, Pt-bic, Pi-bic, Po-bic, Pt-H⁺, Pi-H⁺, Po-H⁺, Pt-OH⁻, Pi-OH⁻ e Po-OH⁻, apresentaram maior variabilidade entre os sistemas de manejo agroecológicos do que entre as vias de formação de agregados. Na área de SAF foram observadas as maiores concentrações de PT nos agregados da via fisiogênica em comparação aos demais sistemas avaliados.

Nos agregados fisiogênicos foram verificados os maiores teores de Pt-bic, Po-bic, Pt-H⁺, Pi-H⁺, Po-H⁺ e Po-OH⁻ em comparação aos agregados da via biogênica na maioria das áreas estudadas. Nos agregados dos sistemas de manejo com maior tempo de implantação e teor de carbono orgânico total foram quantificadas as maiores

concentrações de P nas frações com diferentes graus de labilidade.

As concentrações de P encontradas nos diferentes tipos de agregados evidenciaram o importante papel das vias de formação dos agregados na avaliação da qualidade do solo e que todas as áreas avaliadas possuíam capacidade de se auto sustentar em relação à nutrição fosfatada.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao apoio da CAPES, PPGA-CS/ UFRRJ, Embrapa Agrobiologia e Faperj.

Referências

ALMEIDA, J.Á.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. **R. Bras. de Ci. Solo**. 2003;27:985-1002.

BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.; MELLO, N.A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias,** v. 34, n. 4, p. 1535-1548, 2013.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Societyand American Journal** , Madison, v. 53, n. 326-366, 1989.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 704p, 2013.

BRAVO, C. A.; GIRALDEZ, J. V.; ORDOÑEZ, R.; GONZALEZ, P.; TORRES, F. P. Long term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of Southern Spain. **Soil Science**, Baltimore, v.172, n.02, p. 141-148, 2007.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A. Handbook for Soil Thin Section Description. **Albrighton: Waine Research Publications**, 152p, 1985.

BUSATO, J.G.; CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-deaçúcar por longo tempo. I: Fracionamento seqüencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2005. 29(6), 935-944.

CARVALHO, A. M.DE; BUSTAMANTE, M. M. DA C.; ALMONDES, Z. A. DO P.; FIGUEIREDO, C.C. de. Forms of phosphorus in an Oxisol under different soil tillage systems and cover plants in rotation with maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2014, v.38, n.3 p.972-979, 2014.

DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A.; RUPA, T.R. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. **Biores. Technol**. 2000;75:113-18.

DUDA, G.P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos**. Seropédica-RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 158p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

FERNANDES, J.C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA NETO, E.C.D.A.; CORREA NETO, T. A. Characterization of biogenic, intermediate and physicogenic soil aggregates of areas in the Brazilian Atlantic Forest. **Revista Caatinga**, v. 30, n.1, p.59-67. 2017

FERREIRA, A.C.F. **Impacto do uso do solo e altitude sob a dinâmica do carbono e fósforo no bioma Mata Atlântica**. 2017, 85fp. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo.

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS G.A.S; FERNANDES, M. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n.4, p. 291-299, 1996.

LIANG, A.; ZHANG, Y.; ZHANG, X.; YANG, X.; MCLAUGHLIN, N.; CHEN, X.; GUO, Y.; JIA, S.; ZHANG, S.; WANG, L.; TANG, J. 2018. Investigations of relationships among aggregate pore structure, microbial biomass, and soil organic carbon in a Mollisol using combined nondestructive measurements and phospholipid fatty acid analysis. **Soil Till. Res**. 185, 94–101, 2018.

LOSS, A.; LOURENZI, C.R.; DOS SANTOS, E.; MERGEN, C.A.; BENEDET, L.; PEREIRA, M.G.; PICCOLO, M.C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P.E.; COMIN, J.J. Carbon, nitrogen and natural abundance of 13 C and 15 N in biogenic and physicogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil and Tillage Research**, 166, p.52–58, 2017.

LOSS, A.; PEREIRA M.G.; COSTA, E.M.; BEUTLER, S.J. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural 13C and 15N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, n.7, p.85–697, 2014.

MELO, T. R.; PEREIRA, M. G.; BARBOSA, G. M. C.; SILVA NETO, E. C., ANDRELLO, A. C.; FILHO, J. T. Biogenic aggregation intensifies soil improvement caused by manunes. **Soil Till. Res**. 189, 2019.

MERGEN JUNIOR, C. A.; LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E; BRUNETTO, G. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. Rev. Bras. Cienc. Agrar., Recife, v.14, n.1, e5620, 2019

NUNES, D.A.P. **Mineralização de fósforo orgânico em solos sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem**. Campos dos Goytacaze-RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2011. 78p. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2011.

PINTO, L. A. S. R.; MENDONÇA, O. V. T.; ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; BARROS, F. C. Evolución y acumulación de C-CO_2 en agregados biogénicos y fisiogénicos presentes en diferentes tipos de manejos agroecológicos. **Rev. Acta Agron**. 67: 494-500, 2018.

PULLEMAN, M. M.; SIX, J.; MARINISSEN, J. C. Y.; JONGMANS, A. G.; Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology Amsterdam**, v. 29, n. 1, p. 1-15, 2005.

REIS, T.H.P. **Dinâmica e Disponibilidade de Fósforo em Solos Cultivados com Cafeeiro em Produção**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, 2009. 144p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras, 2009.

RESENDE, J.C.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MARKEWITZ, D.; KLINK, C.A.; DAVIDSON, E.A. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: Impacts of frequent burning. **Biogeochemistry**, 105:105-118, 2010.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. **III Caracterização morfológica do solo**. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G.; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia: fundamentos. Visoça, MG: SBCS, 2012.

RITA, J.C.D.O.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; ZAIA, F.C.; NUNES, D.A.D. Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the north of Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**. 2013;37:1207-15.

ROSSET, J.S.; GUARESCHI, R.F.; PINTO, L.A.S.R.; PEREIRA, M.G. LANA, M.C. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos emu ma cronossequência de agricultura sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 6, p. 3915-3926, 2016.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; MOURA, O. V. T. DE; ALMEIDA, A.P.C. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1677-1685, 2016ª.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 353p, 2013.

SILVA NETO, L. F; PEREIRA, M.G; FERNANDES, J. C. F; CORRÊA NETO, T. A.

Formação de agregados e matéria orgânica do solo sob diferentes tipos de vegetação na Floresta Atlântica do Sudeste do Brasil. **Semina: Ciência agrárias**. Londrina, v. 37, n. 6, p. 3927-3940, 2016.

SILVA NETO, L. F; SILVA, I. F; INDA, A. V; NASCIMENTO, P. C; BORTOLO, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. Ciência agrotécnica. v.34, n.6, p.1365-1371, 2010.

SOUZA, E.D. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 573p, 2017.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p.1467-1476, New York 1988.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. DA; GAMA-RODRIGUES, E. F DA; MACHADO, R. C. Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1987-1995, 2008.