

CÉSAR RORIZ DE SOUZA

**BIODISPONIBILIDADE E TRANSFORMAÇÕES DE FORMAS
DE FÓSFORO EM CAMAS DE AVIÁRIO POR MEIO DE
FRACIONAMENTO QUÍMICO E RESSONÂNCIA
MAGNÉTICA NUCLEAR DO ³¹P**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729b
2004

Souza, César Roriz de, 1971-

Biodisponibilidade e transformações de formas de fósforo em camas de aviário por meio de fracionamento químico e ressonância magnética nuclear do ^{31}P / César Roriz de Souza. – Viçosa : UFV, 2004.
xvii, 76f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Ivo Ribeiro da Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Fertilizantes orgânicos. 2. Resíduos orgânicos como fertilizantes. 3. Adubação. 4. Fósforo - Separação. 5. Ressonância magnética nuclear. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.


CDD 20.ed. 631.86

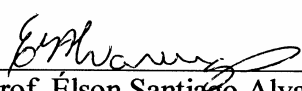
CÉSAR RORIZ DE SOUZA

**BIODISPONIBILIDADE E TRANSFORMAÇÕES DE FORMAS
DE FÓSFORO EM CAMAS DE AVIÁRIO POR MEIO DE
FRACIONAMENTO QUÍMICO E RESSONÂNCIA
MAGNÉTICA NUCLEAR DO ^{31}P**


Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

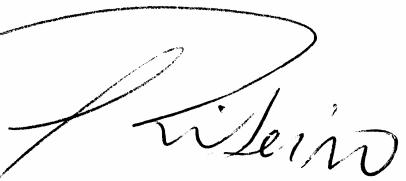
APROVADA: 26 de novembro de 2004.


Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Conselheiro)


Prof. Elson Santiago Alvarenga
(Conselheiro)


Prof. Roberto Ferreira de Novais


Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti


Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Orientador)

A Deus.

À minha esposa e filha.

Aos meus pais.

Ao professor Márcio de Moura Estevão.

Ao tio Antônio Fagundes de Sousa.

A todos os meus familiares.

...a quem dedico esta realização!

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, que me concedeu o privilégio desta oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Ivo Ribeiro da Silva, pela orientação, pelos ensinamentos, pelo exemplo de conduta e dedicação e, sobretudo, pela amizade.

Aos professores conselheiros Victor Hugo Alvarez V., Eduardo de Sá Mendonça e Élon Santiago Alvarenga, pelas contribuições, pelo estímulo e pela atenção dedicada.

Aos professores Roberto Ferreira de Novais e Reinaldo Bertola Cantarutti, pelas sugestões proveitosas que enriqueceram este trabalho.

Ao professor Nairam Félix de Barros, pela concessão do Laboratório de Solos Florestais para realização das análises químicas dos experimentos.

Aos professores José Mário Braga, Antônio Carlos Ribeiro, Luís Eduardo Dias e Júlio César Lima Neves, pelo apoio e pela consideração.

Aos técnicos de laboratório Cardoso, Beto e Geraldo, pela colaboração intensa e pela amizade.

Aos funcionários e servidores do Departamento de Solos, em especial ao Luís Carlos (Lula), Carlos Fonseca, à Sônia, Luciana, Júnia, ao Ernando, Jorge Holando, Írio Fernando, Carlinhos, Jairo, Pedro Lélis, José Luís, Claudinho, Chico, Brás, Seu Vicente e Ciro, pela amizade, prontidão e colaboração nos serviços prestados.

Aos estagiários Vladimir, Igor, Guilherme, Frederico, Guilherme Jesus e Arlindo, pela amizade e colaboração nos experimentos.

Aos colegas da pós-graduação, em especial ao Augusto, Rodinei, Fabrício, à Flancer, Cristiane, Daniela, ao Beno, Sérgio e Alexandre, pela amizade e pelo apoio.

Aos colegas de pesquisa Dalton, Jackson e Michelle, pelo auxílio e pela amizade.

Aos meus amigos de Viçosa, em especial da “Boca-da-Muvuca”, meus amigos de Guiricema, da EMATER-MG e de Brasília, pelo apoio e pela amizade.

A toda família, que, mesmo distante, sempre esteve do meu lado, ajudando-me e dando-me força para continuar firme na caminhada do dia-a-dia.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CÉSAR RORIZ DE SOUZA, filho de Amário Alves de Souza e Terezinha de Jesus Roriz de Souza, nasceu na cidade de Brasília, no Distrito Federal, em 23 de março de 1971.

Iniciou o curso de Agronomia em março de 1991, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em agosto de 1996. Entre agosto de 1993 a março de 1996, foi bolsista de iniciação científica do Departamento de Solos, na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

De março de 1997 a abril de 2002, trabalhou em extensão rural na EMATER-MG no município de Guiricema-MG.

Em abril de 2002, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2004, ingressou na Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente em Brasília-DF, lotado na Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO GERAL	1
LITERATURA CITADA	3
CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR PLANTAS DE MILHO EM LATOSSOLOS ADUBADOS COM DIFERENTES CAMAS DE AVIÁRIO	4
Resumo	4
Summary	5
1. Introdução	6
2. Material e Métodos	7
3. Resultados	9
3.1. Produção de matéria seca	9
3.2. P acumulado na parte aérea	12
4. Discussão	15
5. Conclusões	17
6. Literatura Citada	18
TRANSFORMAÇÕES DE FRAÇÕES DE FÓSFORO DE CAMAS DE AVIÁRIO	20
Resumo	20
Summary	21
1. Introdução	22

	Página
2. Material e Métodos.....	23
2.1. Camas de aviário e solo.....	23
2.2. Ensaio 1 – Fósforo orgânico e inorgânico em camas de aviário antes e após incubação com solo argiloso, determinados por meio de fracionamento químico	24
2.3. Ensaio 2 – Cinética de mineralização do fósforo de cama de casca de arroz incubada na ausência ou presença de solo, avaliada por meio de fracionamento químico	25
2.4. Ensaio 3 – Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em camas de aviário e suas transformações, avaliadas por meio de ³¹ P-RMN	26
3. Resultados	27
3.1. Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em camas de aviário antes e após incubação com solo argiloso, determinadas por meio de fracionamento químico	27
3.2. Cinética de mineralização das formas de fósforo orgânico de cama de casca de arroz após incubação sem ou com adição de solo, avaliada por meio de fracionamento químico	30
3.3. Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em camas de aviário e suas transformações, avaliadas por meio de ³¹ P-RMN	31
3.3.1. Extração de fósforo por água e NaOH-EDTA da cama de aviário sem e com a adição ao solo	31
3.3.2. Especificação de fósforo de camas de aviário antes e após incubação (sem solo)	32
3.3.3. Cinética das transformações do fósforo da cama de maravalha durante a incubação (sem solo).....	35
4. Discussão.....	35
4.1. Formas de fósforo e suas transformações avaliadas por meio de fracionamento químico	36
4.2. Formas de fósforo e suas transformações avaliadas por meio de ³¹ P-RMN	37
5. Conclusões	41
6. Literatura Citada.....	41
FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS ADUBADOS COM CAMAS DE AVIÁRIO	46
Resumo	46
Summary	47
1. Introdução	48
2. Material e Métodos.....	49
3. Resultados	51
3.1. Cinética das transformações das frações de fósforo	51
3.2. Frações de fósforo de solos adubados com camas de aviário	58

	Página
4. Discussão.....	60
5. Conclusões	62
6. Literatura Citada.....	62
CONCLUSÕES GERAIS	65
APÊNDICE	66

LISTA DE TABELAS

		Página
1º Artigo		
1	Características químicas e físicas dos solos utilizados	8
2	Teores totais de macro e micronutrientes nas camas de aviário	9
3	Equações para produção de matéria seca da parte aérea do milho (g/vaso), em três cultivos, de acordo com a dose de cama de aviário, (t/ha) no Latossolo muito argiloso e textura média, respectivamente.	11
4	Equações de conteúdo de P na parte aérea do milho (mg/vaso), em função da dose de cama de aviário (t/ha), nos Latossolos muito argiloso e textura média	14
5	Recuperação do P em três cultivos de milho nas doses das diferentes camas de aviário estimadas para 90 % da produção de matéria seca da parte aérea de milho, nos Latossolos muito argiloso e textura média, respectivamente.....	16
2º Artigo		
1	Teores de CO, N, P total e relações C/N e C/P de camas de aviário ..	28
2	Teores de P total, Pi e Po nas camas de aviário conforme o método de Bowman (1989).....	28

3	Teores de fósforo orgânico (Po) e inorgânico (Pi) em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso, antes e após a incubação por 15 dias, com dose correspondente a 40 t ha ⁻¹ de diferentes camas de aviário.....	29
4	Distribuição relativa do P total em diferentes formas de P inorgânico (Pi) e orgânico (Po), em cinco camas de aviário, antes e após a incubação (43 dias) e taxa de mineralização das formas orgânicas.....	33

3º Artigo

1	Frações de fósforo dos solos muito argiloso e textura média, com e sem a aplicação de 80 t ha ⁻¹ de camas de aviário. Médias de três épocas de amostragem (0, 15 e 90 dias de incubação).....	59
---	--	----

Apêndice

1A	Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) da matéria seca da parte aérea e P acumulado na planta (três cultivos sucessivos de milho), no solo de textura muito argilosa	67
2A	Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) da matéria seca da parte aérea e P acumulado na planta (três cultivos sucessivos de milho), no solo de textura média .	68
3A	Análise de variância de C, N, P e relações C/N e C/P	68
4A	Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) de formas inorgânicas de P (Pi) e orgânicas (Po), extraídas pelo Método de Bowman (1989), de solo muito argiloso, fertilizado com diferentes camas de aviário	69
5A	Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi) por diferentes extratores, em dois Latossolos adubados com camas de aviário (pré-incubação).....	70
6A	Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi) por diferentes extratores, em dois Latossolos adubados com camas de aviário (pós-incubação).....	71
7A	Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi) por diferentes extratores, em dois Latossolos adubados com camas de aviário (pós-3º cultivo – 90 dias da aplicação das camas de aviário).....	72

8A	Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) dos diferentes compartimentos de P do solo muito argiloso, fertilizado com diferentes camas de aviário	73
9A	Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) dos diferentes compartimentos de P do solo de textura média, fertilizado com diferentes camas de aviário	74
10A	ANOVA com efeitos l e q do tempo dentro das camas, dos diferentes compartimentos de P do solo muito argiloso, fertilizado com diferentes camas de aviário, em função do tempo	75
11A	ANOVA com efeitos l e q do tempo dentro das camas, dos diferentes compartimentos de P do solo textura média, fertilizado com diferentes camas de aviário, em função do tempo	76

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 ^o Artigo	
1	Produção de matéria seca da parte aérea do milho, em três cultivos sucessivos, de acordo com dose de cama de aviário nos Latossolos muito argiloso e textura média, respectivamente..... 10
2	Conteúdo de P na parte aérea do milho, em três cultivos consecutivos, de acordo com dose de cama de aviário nos Latossolos muito argiloso e textura média, respectivamente 13
2 ^o Artigo	
1	Teores de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) da cama de arroz incubada pura (A) ou misturada ao solo (B), na dose correspondente a 40 t ha ⁻¹ , de acordo com o tempo de incubação 30
2	Espectros de ³¹ P-RMN para compostos fosfatados presentes em camas de maravalha incubada pura e com adição ao solo muito argiloso e textura média, por um período de 15 dias, extraídos por água ou EDTA-NaOH, com 1 e 16 h de agitação 32
3	Espectros de ³¹ P-RMN para compostos fosfatados presentes em cinco tipos camas de aviário em pré-incubação (0 dia) e pós-incubação (43 dias), extraídos com água por 1 h..... 34
4	Distribuição percentual das formas de P e dinâmica das suas transformações na cama de maravalha, de acordo com o tempo de incubação 36

3º Artigo

1	Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de casca de café (dose correspondente a 80 t ha ⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho	52
2	Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de sabugo de milho (dose de 80 t ha ⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho	53
3	Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de maravalha (dose de 80 t ha ⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho	54
4	Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de casca de arroz (dose de 80 t ha ⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho	55
5	Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de capim-napier (dose de 80 t ha ⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho	56

RESUMO

SOUZA, César Roriz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2004.
Biodisponibilidade e transformações de formas de fósforo em camas de aviário por meio de fracionamento químico e ressonância magnética nuclear do ^{31}P .
Orientador: Ivo Ribeiro da Silva. Conselheiros: Victor Hugo Alvarez V., Eduardo de Sá Mendonça e Élson Santiago Alvarenga.

Com a elevação dos custos da adubação mineral, resíduos orgânicos produzidos pelo meio rural passaram a ser mais usados para melhorar as condições químicas e físicas dos solos. Porém, não se sabe ao certo quais as doses mais adequadas de cada tipo de resíduo orgânico para diferentes culturas nos diferentes ambientes edáficos e também pouco se sabe dos possíveis riscos ambientais decorrentes de seu uso. Desta maneira, visou-se avaliar o potencial fertilizante de camas de aviário quanto a P, dado ser este o nutriente mais limitante nos solos brasileiros. Assim, foram objetivos deste trabalho: obter uma estimativa das doses adequadas de camas de aviário para maximizar a produção de matéria seca de plantas de milho e avaliar a participação de formas orgânicas e inorgânicas de P destas camas de aviário e sua dinâmica de transformação, na ausência e na presença de solo. No experimento 1, foram avaliados cinco tipos de camas de aviário em doses correspondentes a 0, 20, 40, 80 e 160 t ha⁻¹, que foram aplicadas em dois Latossolos (um muito argiloso e o outro de textura média) em três repetições, incubados por 15 dias e realizados três cultivos sucessivos de milho, determinando-se a matéria seca produzida e o P acumulado na planta. No experimento

2, determinaram-se os teores de formas orgânicas de P (Po) e inorgânicas (Pi) de cinco camas de aviário em três repetições e as transformações que ocorreram nessas formas após incubação na ausência ou presença de solo, utilizando-se fracionamento químico e ressonância magnética nuclear de ^{31}P (^{31}P -RMN). O experimento 3 foi conduzido semelhantemente ao 1, porém com dose única de cama de maravalha de 80 t ha^{-1} , além de um tratamento-testemunha (ausência de aplicação de cama) visando avaliar a dinâmica das transformações das formas de P no solo com o tempo, por meio de fracionamento químico. Os resultados indicaram que para se obter a produção máxima acumulada em três cultivos, sem que ocorressem efeitos tóxicos às plantas, seria adequada a aplicação de uma dose de cama de aviário equivalente a 70 t ha^{-1} para o solo muito argiloso e em torno de 60 t ha^{-1} para o solo textura média. Verificou-se que os ortofosfatos de monoésteres foram as formas de Po predominantes nas camas de aviário (15,1 % do P extraído por água), porém, os ortofosfatos de diésteres estavam presentes em quantidades apreciáveis (4,7 % do P extraído por água) e disponibilizaram Pi mais rapidamente. A mineralização do Po foi relativamente rápida nos primeiros 15 dias, mas existiu diferença significativa nas taxas de transformação de Po em Pi entre tipos de camas. No solo, a cama de casca de café teve maior taxa de mineralização de Po (44,7 %), enquanto a menor taxa foi observada para a cama de maravalha (4,9 %). As maiores transformações do P nas diversas frações ocorreram durante o período de incubação (0 a 15 dias), sendo que no solo argiloso as frações de P de baixa disponibilidade (extraídas por hidróxido e residual) predominaram, mas no solo de textura média as formas mais lábeis de P (por resina e por bicarbonato) e o P extraído por água apresentaram maiores teores. O solo de textura média, comparativamente ao muito argiloso, poderia estar mais sujeito à perda de P solúvel em água por lixiviação quando fertilizado com camas de aviário.

ABSTRACT

SOUZA, César Roriz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2004.
Bioavailability and transformations of phosphorus forms of poultry litter by chemical fractionation and ^{31}P – Nuclear Magnetic Ressonance. Adviser: Ivo Ribeiro da Silva. Advisory Committee: Victor Hugo Alvarez V., Eduardo de Sá Mendonça and Élson Santiago Alvarenga.

Due to the rising costs of chemical fertilization, organic compounds produced in rural areas are being more frequently used to improve chemical and physical soil conditions. However, it is not well known the adequate doses of different types of organic residues for distinct crops and soils. Furthermore, little is known on the possible risks that the use of these organic residues may pose to the environment. This study sought to evaluate the potential of different poultry litters to supply phosphorus (P), the nutrient most limiting to crop growth in Brazilian soils. Thus, the objectives of this research were: to obtain an estimate of adequate doses of poultry litter to maximize growth of corn plants and evaluate the organic and inorganic P forms in the poultry litter and the dynamics of their transformation, in the absence and presence of soil. In experiment 1 it was evaluated five types of poultry litter in doses equivalent to 0, 20, 40, 80 and 160 t ha⁻¹, applied to two Oxisols (a clayey and a sandy-loam), with three replicates. The soils plus poultry litters mixtures were incubated for 15 days under greenhouse conditions and then corn was cultivated for three successive times. When plants were 25-day old they were harvested and the dry matter production and P uptake were determined. In experiment 2, it was determined the contents of organic (Po) and

inorganic (Pi) phosphorus forms of the poultry litters and the transformations of these P forms after their incubation in the absence and presence of soil, using wet chemical fractionation and ^{31}P – Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (^{31}P -NMR). Experiment 3 was carried out similarly to experiment 1, except that only wood chip litter was used (0 and 80 t ha⁻¹) with the objective of evaluate the transformations of P forms in the soil along the time of incubation using wet chemical fractionation. The results indicate that in order to obtain the maximum estimated growth (accumulated in the three cultivations) and no toxicity effect occurred to plants, a dose of poultry litter equivalent to 70 t ha⁻¹ in the clayey soil and 60 t ha⁻¹ in the sandy-loam soil would be adequate. It was found that monoester orthophosphates were the dominant Po forms in the poultry litter (15.1% of P extracted with water) but, the diester orthophosphate were present in substantial amount (4.7 % of P extracted with water) and mineralized more rapidly. The mineralization of Po was relatively rapid in the first 15 days, but there were significant differences in the Po and Pi transformation rates among poultry litter types. In the soil, the coffee cherry skin litter showed the greatest mineralization rate (44.7%), whereas the lowest rate was observed for the wood chip litter (4.9%). The majority of transformations of P from several forms occurred during the incubation period (0 to 15 days). In the clayey soil the low availability P fractions (residual and NaOH-extracted) were dominant, but in the sandy-loam soil more labile P fractions (resin and bicarbonate-extracted) and water-extractable P presented higher values. Compared to the clayey soil, the sandy-loam would probably be more prone to soluble P losses in the percolation water when fertilized with poultry litter.

INTRODUÇÃO GERAL

A avicultura de corte no Brasil tem crescido nos últimos anos estimulada pelo aumento das exportações e consumo interno *per capita* de carne de frango (ANUALPEC, 1999; 2000; 2001; Anuário Estatístico de Minas Gerais, 2002). Na Zona da Mata mineira, área de abrangência deste estudo, essa atividade possui algumas peculiaridades que têm ajudado a propulsioná-la, como a predominância de pequenas propriedades que empregam mão-de-obra familiar; a localização geográfica próxima dos grandes centros consumidores e o estímulo à adesão dos produtores, propiciado por segurança, assistência técnica e garantia de renda pela integração do sistema com a indústria (Alves Filho, 1996). O pólo avícola concentra-se em torno do município de Visconde do Rio Branco, sede de um grande abatedouro. A atividade avícola tem sido grande geradora de divisas para a região, com 523 famílias integradas à indústria, distribuídas em 30 municípios.

A criação intensiva de frango de corte gera um subproduto, a cama de aviário, responsável por significativa parte da receita da atividade, pois é utilizada como fertilizante ou, mais comumente, na alimentação de bovinos (Alves Filho, 1996). Apesar de a Instrução Normativa nº 15, de 17 de julho de 2001, publicada no Diário Oficial da União nº 138, proibir a utilização de cama de aviário para a alimentação de ruminantes, esta é a destinação que ainda predomina. Contudo, se um processo de fiscalização eficiente for implementado, seu uso como alimento será reduzido substancialmente, e isso poderá diminuir a remuneração das pequenas propriedades.

Atualmente, na estação das águas, a maior parte dessa cama de aviário está sendo usada pelos pequenos agricultores como adubo orgânico, o que poderá estar ocorrendo de maneira inadequada. Não se sabe ao certo as doses mais adequadas de cada tipo de cama de aviário para as diferentes culturas, em diferentes ambientes edáficos. Mais preocupante é o fato de que pouco se sabe dos riscos ambientais decorrentes de seu uso, principalmente no que tange a seu potencial de eutroficação de corpos d'água, conforme já registrado em países mais desenvolvidos. Em decorrência disso, países de clima temperado há anos vêm pesquisando os adubos orgânicos, estabelecendo critérios de uso e níveis de impacto ambiental (Heckrath et al., 1995; Sharpley & Moyer, 2000; Turner & Haygarth, 2000; McDowell & Sharpley, 2001; McDowell et al., 2002). Por outro lado, em países como o Brasil, onde prevalecem solos ácidos e altamente intemperizados, existe uma grande carência de informação sobre o assunto.

O objetivo geral deste estudo foi estabelecer doses de cama de aviário que proporcionem um bom crescimento de plantas, bem como avaliar a dinâmica das transformações de diferentes frações de P dessas camas quando aplicadas ao solo.

LITERATURA CITADA

- ALVES FILHO, E. O processo de produção avícola: história e transformações (contribuição ao estudo da avicultura em Minas Gerais, 1980-1995). 1996. 215 f. Tese (Doutorado em História) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 1999. 447 p.
- ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2000. 392 p.
- ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2001. 359 p.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE MINAS GERAIS 2000-2001. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 9:1-582, 2002.
- DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, nº 138, quarta-feira, 18 de julho de 2001. Seção 1, p. 6. Instrução Normativa nº 15, de 17 de Julho de 2001.
- HECKRATH, G.; BROOKES, P.C.; POULTON, P.R. & GOUDING, K.W.T. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. *J. Environ. Qual.*, 24:904-910, 1995.
- McDOWELL, R.W. & SHARPLEY, A.N. Approximating phosphorus release from soils to surface run-off and subsurface drainage. *J. Environ. Qual.*, 3:508-520, 2001.
- McDOWELL, R.W.; CONDRON, L.M.; MAHIEU, N.; BROOKES, P.C.; POULTRON, P.R. & SHARPLEY, A.N. Analysis of potentially mobile phosphorus in arable soils using solid-state nuclear magnetic resonance. *J. Environ. Qual.*, 31:450-456, 2002.
- SHARPLEY, A.N. & MOYER, B. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. Environ. Qual.*, 29:1462-1469, 2000.
- TURNER, B. L. & HAYGARTH, P. M. Phosphorus forms and concentrations in leachate under four grassland soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1090-1099, 2000.

CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR PLANTAS DE MILHO EM LATOSSOLOS ADUBADOS COM DIFERENTES CAMAS DE AVIÁRIO

Resumo: Com a elevação dos custos da adubação mineral, resíduos orgânicos produzidos pelo meio rural passaram a ser mais utilizados para melhorar as condições químicas dos solos. Este trabalho teve como objetivo estimar as doses adequadas de diferentes camas de aviário para maximizar a produção de matéria seca, utilizando-se o milho como planta indicadora, em amostras de Latossolos de texturas distintas: um muito argiloso e outro de textura média. Um enfoque maior foi dado ao P devido ao seu teor bastante baixo na maioria dos solos brasileiros e à existência de teor relativamente elevado nas camas de aviário (15,5 g kg⁻¹ de P, em média). Dessa maneira, foram avaliados cinco tipos de camas de aviário (casca de café, sabugo de milho, maravalha, casca de arroz e capim-napier), aplicadas em cinco doses, correspondentes a 0, 20, 40, 80 e 160 t ha⁻¹. Os solos com os respectivos tratamentos, em um volume de 1,5 dm³, foram acondicionados em vasos plásticos e incubados por 15 dias com umidade equivalente a 80 % da capacidade de campo. Decorrido esse período, foram feitos três plantios sucessivos de milho (25 dias cada cultivo), determinando-se a matéria seca produzida e o P acumulado na planta. Observou-se que as camas de sabugo de milho e a de casca de arroz foram fontes mais eficientes de P nos dois solos. O padrão de resposta tanto para produção de matéria seca quanto para conteúdo de P foi quadrático no primeiro cultivo, tendendo para linear nos cultivos sucessivos, mostrando o efeito residual das camas de aviário nas doses mais elevadas. Observou-se que as plantas de milho recuperaram aproximadamente duas vezes mais P das camas de aviário aplicadas no solo de textura média que no solo mais argiloso no primeiro cultivo. Para se obter a produção máxima acumulada (três cultivos) sem que ocorram efeitos tóxicos às plantas, sugere-se uma dose de aproximadamente 70 t ha⁻¹ (considerando-se uma profundidade de incorporação de 0-20 cm) para o solo argiloso e em torno de 60 t ha⁻¹ no solo textura média.

Palavras-chave: camas de aviário; adubação orgânica; fósforo.

GROWTH AND UPTAKE OF PHOSPHORUS BY CORN PLANTS IN OXISOLS FERTILIZED WITH DISTINCT POULTRY LITTERS

Abstract: Due to the rising costs of chemical fertilization, organic compounds produced in rural areas are being more frequently used to improve chemical soil conditions. The present study aimed at estimating the adequate doses of distinct poultry litters to maximize dry matter accumulation by corn plants in two Oxisols with different texture: a clayey and a sandy-loam. A greater attention was paid to phosphorus (P) due to its low content in the majority of Brazilian soils and the presence of relatively high P content in the poultry litters (average of 15.5 g kg⁻¹). Thus, five types of poultry litters were evaluated, namely: coffee berry skin, wood chip, ground corn cob, rice husk, and ground dry grass at five doses, corresponding to 0, 20, 40, 80 e 160 t ha⁻¹. The soils (1.5 dm³) with their respective treatments were accommodated in plastic pots and incubated for 15 days, with moisture equivalent to 80% of field capacity. After this period, three successive 25-day corn cultivations were carried out. At the end of each cultivation the shoot dry mass and P content were determined. It was observed that the ground corn cob and rice husk litter were more efficient P sources in the two soils. For both dry matter and P accumulation the response followed a quadratic pattern in the first cultivation and shifted to linear in the successive cultivation, showing the residual effect of poultry litter when used at higher doses. The corn plants recovered about twice as much P from the poultry litter in the sandy-loam than in the clayey soil in the first cultivation. In order to obtain the maximum dry matter production (three cultivations combined) without toxic effects to plants, a dose equivalent to 70 t ha⁻¹ (incorporated in the 0-20 cm layer) in the clayey and 60 t ha⁻¹ in the sandy-loam soil is recommended

Key words: poultry litter; organic fertilization; phosphorus.

1. Introdução

Resíduos orgânicos de origem animal, produzidos pelo meio rural, estão sendo cada vez mais usados para melhorar as condições químicas e físicas dos solos, como consequência da elevação dos custos da adubação mineral.

A eficiência das camas de aviário como adubo depende da qualidade do material e de vários fatores edafo-climáticos. Devido à presença de nutrientes em formas orgânicas, especialmente P, cuja disponibilização é mais lenta do que nos adubos químicos solúveis, o efeito residual dos adubos orgânicos para os cultivos subseqüentes não deve ser ignorado.

A textura do solo é um fator que afeta substancialmente a resposta dos cultivos à aplicação de adubos orgânicos. Giannello & Ernani (1983) observaram aumento de P extraível por Mehlich-1, Ca, Mg e K trocáveis com o aumento da quantidade de cama de aviário aplicada em dois solos com diferentes texturas. Foram detectados aumentos no rendimento da matéria seca em plantas de milho até a maior dose de cama de frango (144 t ha^{-1}) aplicadas no solo argiloso. Todavia, essa mesma dose diminuiu o rendimento no solo mais arenoso. Esses autores observaram que em sucessivos cultivos de milho a aplicação de cama de aviário teve menor efeito residual no solo mais arenoso, onde, no segundo cultivo e nas doses mais baixas, o N e o K limitaram o rendimento da cultura.

São poucos os estudos que envolvem a determinação de doses adequadas de cama de aviário em distintos solos. Tampouco tem sido avaliada a eficiência dos diferentes tipos de camas de aviário. A maior parte dos trabalhos relacionados à recomendação de doses de camas de aviário para fertilização de culturas tem origem nos estados da região Sul do Brasil, onde a avicultura comercial é mais desenvolvida. Para o estado de Minas Gerais, as recomendações das doses de cama de aviário são feitas com base no esterco bovino, ou seja, aplica-se quantidade de cama de aviário correspondente a 1/3 e 1/4 da de esterco bovino (Ribeiro et al., 1999).

Especificamente para o caso do P, Cassol et al. (2001) observaram que para mesma dose de P, o esterco de frango e o esterco bovino atingem, respectivamente, uma eficiência apenas 16 % e 6 % inferior ao fertilizante mineral quando utilizados na adubação de milheto em casa de vegetação.

Este trabalho teve como objetivo obter uma estimativa preliminar das doses adequadas de diferentes camadas de aviário para maximizar a produção de matéria seca de plantas de milho em solos com texturas distintas.

2. Material e Métodos

No experimento foram utilizadas amostras subsuperficiais de dois solos com texturas distintas: um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média. Ambos foram retirados na profundidade de 20 a 40 cm para minimizar a interferência dos teores de formas orgânicas de P na camada superficial, sendo secados ao ar e passados por peneira com malha de 4 mm. Deste material foram retiradas subamostras, as quais foram passadas em peneira com malha de 2 mm, e submetidas a análises para caracterização química e física (Tabela 1).

Foram utilizadas camadas de aviário compostas por cinco materiais: casca de café, sabugo de milho, maravalha, casca de arroz e capim-napier. Elas foram coletadas no município de Guiricema-MG, depois de utilizadas como cama em um lote de frangos de corte (48 dias em média), na densidade de 15 aves/m². Antes de serem aplicadas aos solos elas foram secadas ao ar e passadas em triturador de forragem.

Para realizar a caracterização química, após secagem em estufa a 70 °C, as camadas de aviário foram passadas em moinho com peneira de 0,5 mm e submetidas à digestão nítrico-perclórica (Sarruge & Haag, 1974). O P foi dosado por espectrofotometria de absorção molecular (Braga & Defelipo, 1974); Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica; K por espectrofotometria de emissão de chama; B pelo método colorimétrico da Azometina-H; N e S total por combustão a seco em analisador elementar (CHNS/O, 2400 Série II, Perkin Elmer) (Tabela 2).

As cinco camadas de aviário foram aplicadas em 1,5 dm³ de cada solo, em cinco doses equivalentes a 0, 20, 40, 80 e 160 t ha⁻¹, sendo homogeneizadas com todo o volume de solo, acondicionados em vasos de 2 dm³ e incubados durante 15 dias em casa de vegetação com umidade correspondente a 80 % da capacidade de campo. A capacidade de campo foi previamente determinada para os dois solos com as cinco camadas de aviário através do equivalente de umidade (Ruiz, 2004). Transcorrido esse tempo, cinco sementes de milho foram colocadas para germinar em cada vaso, sendo que uma semana após a emergência foram deixadas três plantas por vaso.

Tabela 1 – Características químicas e físicas dos solos utilizados

Característica	Solo muito argiloso	Solo textura média
pH – H ₂ O (1:2,5)	4,80	5,40
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{1/}	1,10	0,45
Ca ₂₊ (cmol _c dm ⁻³) ^{1/}	0,02	0,05
Mg ₂₊ (cmol _c dm ⁻³) ^{1/}	0,01	0,01
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	6,70	3,20
K (mg dm ⁻³) ^{3/}	4,10	9,90
P (mg dm ⁻³) ^{3/}	0,30	0,30
P - remanescente (mg L ⁻¹) ^{4/}	4,20	24,50
CMAP (mg g ⁻¹) ^{5/}	2,48	0,76
Carbono orgânico (dag kg ⁻¹) ^{6/}	1,38	0,65
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,04	0,08
t (cmol _c dm ⁻³)	1,14	0,53
T (cmol _c dm ⁻³)	6,74	3,28
m (%)	96,50	84,90
V (%)	0,60	2,40
Areia grossa (%) ^{7/}	13,00	26,00
Areia fina (%) ^{7/}	7,00	50,00
Silte (%) ^{7/}	2,00	3,00
Argila (%) ^{7/}	78,00	21,00
Classe textural	Muito argilosa	Franco-argilo-arenosa
Capacidade de campo (kg kg ⁻¹) ^{8/}	0,35	0,10

^{1/} Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). ^{2/} Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 (Vettori, 1969). ^{3/} Extrator Mehlich⁻¹ (Defelipo e Ribeiro, 1997). ^{4/} Concentração de P da solução de equilíbrio, após agitar por 1 h o solo com CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P na relação 1:10 (Alvarez V. et al., 2000). ^{5/} Olsen & Watanabe (1957), adaptado por Alvarez V. & Fonseca (1990). ^{6/} Método Walkley & Black (JACKSON, 1958). ^{7/} Método da pipeta (EMBRAPA, 1997). ^{8/} Pelo Método de Richards (-30 kPa) (EMBRAPA, 1997).

Aos 25 dias após o plantio, a parte aérea das plantas foi colhida e seca em estufa a 70 °C. O tecido vegetal foi passado em moinho tipo Wiley e digerido com mistura nítrico-perclórica para determinação do teor de P por espectrofotometria de absorção molecular (Braga & Defelipo, 1974). Para determinar o efeito residual da adubação com as camas de aviário, dois novos cultivos (25 dias cada) foram efetuados, seguindo os mesmos procedimentos do primeiro.

A partir de equações de regressão que relacionam a produção de matéria seca em função das doses de cama de aviário, foram estimadas as doses de cada cama de aviário para se atingir 90 % da produção máxima de matéria seca em cada solo e cultivo, sendo que para os modelos lineares utilizou-se a dose mais elevada (160 t ha⁻¹).

Tabela 2 – Teores totais de macro e micronutrientes nas camas de aviário

Cama	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
Casca de café	32,8a	14,4b	28,9ab	25,0a	5,5b	15b
Sabugo	34,2a	18,6a	29,7a	28,3a	6,7a	18a
Maravalha	30,9a	13,7b	24,4c	25,8a	5,7b	14b
Casca de arroz	34,7a	15,9b	26,8b	25,7a	6,2a	16ab
Capim-napier	34,8a	15,1b	23,3c	25,5a	6,0a	15b
Média	33,5	15,5	26,6	26,1	6,0	15
CV (%)	10,6	12,2	10,0	6,6	8,2	10,1
Cana	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Casca de café	492,7a	951,1a	283,2b	42,8a	39,4a	
Sabugo	577,7a	895,5a	405,7a	50,6a	43,1a	
Maravalha	472,7a	788,7a	314,8b	41,3a	41,7a	
Casca de arroz	525,2a	906,2a	365,9ab	50,1a	39,4a	
Capim-napier	491,2a	984,5a	318,9b	41,1a	31,4b	
Média	511,9	905,2	337,7	45,2	39,0	
CV (%)	9,9	13,3	15,4	13,4	11,4	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O P recuperado foi determinado através do P acumulado na parte aérea das plantas, comparativamente ao que foi aplicado nas doses das diferentes camas de aviário, estimadas para 90 % da produção de matéria seca da parte aérea de milho.

Os tratamentos foram arranjados em um fatorial 2 x 5 x 5 (dois solos, cinco camas de aviário e cinco doses de cada cama) e dispostos em blocos casualizados com três repetições. Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão.

3. Resultados

3.1. Produção de matéria seca

A resposta das plantas à aplicação das camas de aviário dependeu do tipo de cama e de solo. As respostas nos primeiros dois cultivos foram, de modo geral, de natureza quadrática (Figura 1 e Tabela 3). No primeiro cultivo, a dose de 160 t ha⁻¹ causou sintomas de toxidez, resultando em crescimento reduzido das plantas. Verificou-se, também, que o solo mais argiloso propiciou um maior poder tampão, evitando a

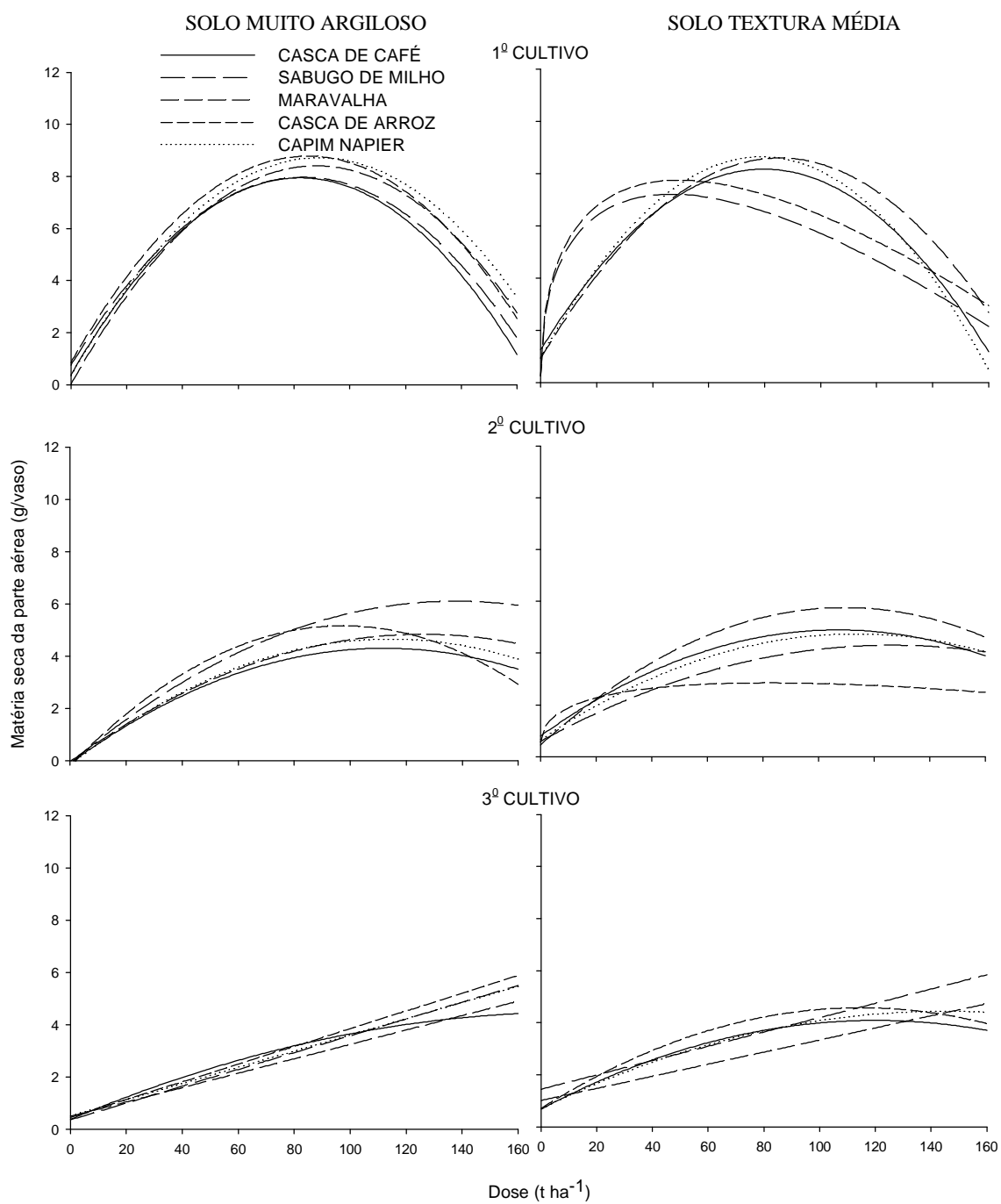


Figura 1 – Produção de matéria seca da parte aérea do milho, em três cultivos sucessivos, de acordo com dose de cama de aviário nos Latossolos muito argiloso e textura média, respectivamente.

Tabela 3 – Equações para produção de matéria seca da parte aérea do milho (g/vaso), em três cultivos, de acordo com a dose de cama de aviário (t/ha), no Latossolo muito argiloso e textura média, respectivamente

Solo	Cama	Equação	R ²	Dose para 90 % da MS	90 % da MS
		1º Cultivo		t ha ⁻¹	g/vaso
Muito Argiloso	Casca de café	= 0,401 + 0,1809 ^{***} x - 0,0011 ^{***} x ²	0,95	54	7,0
	Sabugo	= 0,737 + 0,1740 ^{***} x - 0,0010 ^{***} x ²	0,86	58	7,4
	Maravalha	= 0,002 + 0,1911 ^{***} x - 0,0011 ^{***} x ²	0,98	60	7,6
Textura Média	Casca de arroz	= 0,838 + 0,1872 ^{***} x - 0,0011 ^{***} x ²	0,89	57	7,9
	Capim-napier	= 0,343 + 0,1884 ^{***} x - 0,0011 ^{***} x ²	0,91	60	7,8
	Casca de café	= 1,255 + 0,1734 ^{***} x - 0,0011 ^{***} x ²	0,92	52	7,3
Muito Argiloso	Sabugo	= 0,254 + 2,0384 ^{***} √x - 0,1493 ^{***} x	0,97	21	6,5
	Maravalha	= 0,912 + 0,1803 ^{***} x - 0,0011 ^{***} x ²	0,97	57	7,7
	Casca de arroz	= 0,251 + 2,1333 ^{***} √x - 0,1518 ^{***} x	0,97	23	7,0
Textura Média	Capim-napier	= 1,014 + 0,1890 ^{***} x - 0,0012 ^{***} x ²	0,94	54	7,8
		2º Cultivo			
	Muito Argiloso	Casca de café	= -0,1006 + 0,0786 ^{**} x - 0,0004 ^{**} x ²	0,59	67
Sabugo		= -0,0988 + 0,0903 ^{***} x - 0,0003 ^{***} x ²	0,95	94	5,5
Maravalha		= -0,0357 + 0,0775 ^{***} x - 0,0003 ^{***} x ²	0,91	86	4,3
Textura Média	Casca de arroz	= -0,2016 + 0,1104 ^{***} x - 0,0006 ^{***} x ²	0,90	67	4,6
	Capim-napier	= -0,1539 + 0,0841 ^{***} x - 0,0004 ^{***} x ²	0,87	79	4,2
	Casca de café	= 0,7998 + 0,0765 ^{***} x - 0,0003 ^{***} x ²	0,84	70	4,4
Muito Argiloso	Sabugo	= 0,5903 + 0,0587 [*] x - 0,0002 ^o x ²	0,63	83	3,9
	Maravalha	= 0,4564 + 0,0969 ^{***} x - 0,0004 ^{***} x ²	0,92	73	5,2
	Casca de arroz	= 0,5579 + 0,5071 ^o √x - 0,0281 ^o x	0,97	34	2,6
Textura Média	Capim-napier	= 0,6540 + 0,0720 ^{***} x - 0,0003 ^{***} x ²	0,71	75	4,3
		3º Cultivo			
	Muito Argiloso	Casca de café	= 0,3793 + 0,0451 ^{***} x - 0,0002 [*] x ²	0,85	122
Sabugo		= 0,3623 + 0,0322 ^{***} x	0,98	128	4,5
Maravalha		= 0,4942 + 0,0276 ^{***} x	0,98	127	4,0
Textura Média	Casca de arroz	= 0,4622 + 0,0339 ^{***} x	0,95	128	4,8
	Capim-napier	= 0,512 + 0,031 ^{***} x	0,98	126	4,4
	Casca de café	= 0,6699 + 0,0569 ^{***} x - 0,0002 ^{***} x ²	0,91	78	3,7
Muito Argiloso	Sabugo	= 1,4402 + 0,0275 ^{***} x	0,79	137	5,2
	Maravalha	= 1,0065 + 0,0233 ^{***} x	0,87	141	4,3
	Casca de arroz	= 0,6977 + 0,0675 ^{***} x - 0,0003 ^{**} x ²	0,76	75	4,1
Textura Média	Capim-napier	= 0,7012 + 0,0514 ^{***} x - 0,0002 [*] x ²	0,83	95	4,0

MS = matéria seca da parte aérea.

^o, *, **, *** Significativos, a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

toxidez às plantas. Em média, não houve grande diferença na produção de matéria seca entre os dois solos no primeiro cultivo, mas as camas apresentaram um potencial fertilizante diferenciado, especialmente no solo de textura média. Ficou evidente que para atingir 90 % da produção máxima de matéria seca no solo argiloso as doses estimadas foram, de maneira geral, mais elevadas que no solo textura média. Quando se utilizaram as camas de sabugo de milho e casca de arroz, as doses estimadas foram aproximadamente metade daquela observada para os outros tipos de cama (Figura 1 e Tabela 3).

No segundo e terceiro cultivos houve significativa redução na produção de matéria seca em ambos os solos. Contudo, as doses necessárias para se obter 90 % da produção máxima de matéria seca passaram a ser substancialmente mais elevadas. A cama de casca de arroz continuou sendo uma das mais eficientes para o solo de textura média, enquanto não se detectaram diferenças entre as camas para o solo argiloso (Figura 1 e Tabela 3). A produção de matéria seca das plantas no terceiro cultivo não diferenciou muito daquela observada para o segundo cultivo, mas, a natureza da resposta das plantas às doses das camas de aviário foi bastante distinta. As respostas passaram a ser lineares, com exceção da cama de casca de café, no solo argiloso, e as camas de sabugo de milho e maravalha no solo de textura média, em que foram quadráticas. A cama de casca de arroz mostrou-se novamente uma das mais eficientes, permitindo um bom crescimento de plantas com doses abaixo da metade daquela obtida para a maioria das outras camas.

3.2. P acumulado na parte aérea

No solo textura média verificou-se, no primeiro cultivo, maior acúmulo de P na parte aérea das plantas, e as variáveis foram de natureza quadrática para ambos os solos (Figura 2 e Tabela 4). Comparando o primeiro com o segundo cultivo, houve mudança do comportamento da resposta com modelos apresentando menor declividade ao longo dos cultivos. Verificou-se também decréscimo substancial nas quantidades do P acumulado na parte aérea das plantas, e a diferença entre os dois solos passou a ser pequena (Figura 2).

O acúmulo de P pelas plantas no terceiro cultivo aumentou linearmente com o incremento das doses, de modo semelhante entre os diferentes tipos de cama de aviário. Houve, entretanto, tendência de maior acúmulo de P, principalmente nas doses mais elevadas das camas no solo de textura média em comparação ao muito argiloso.

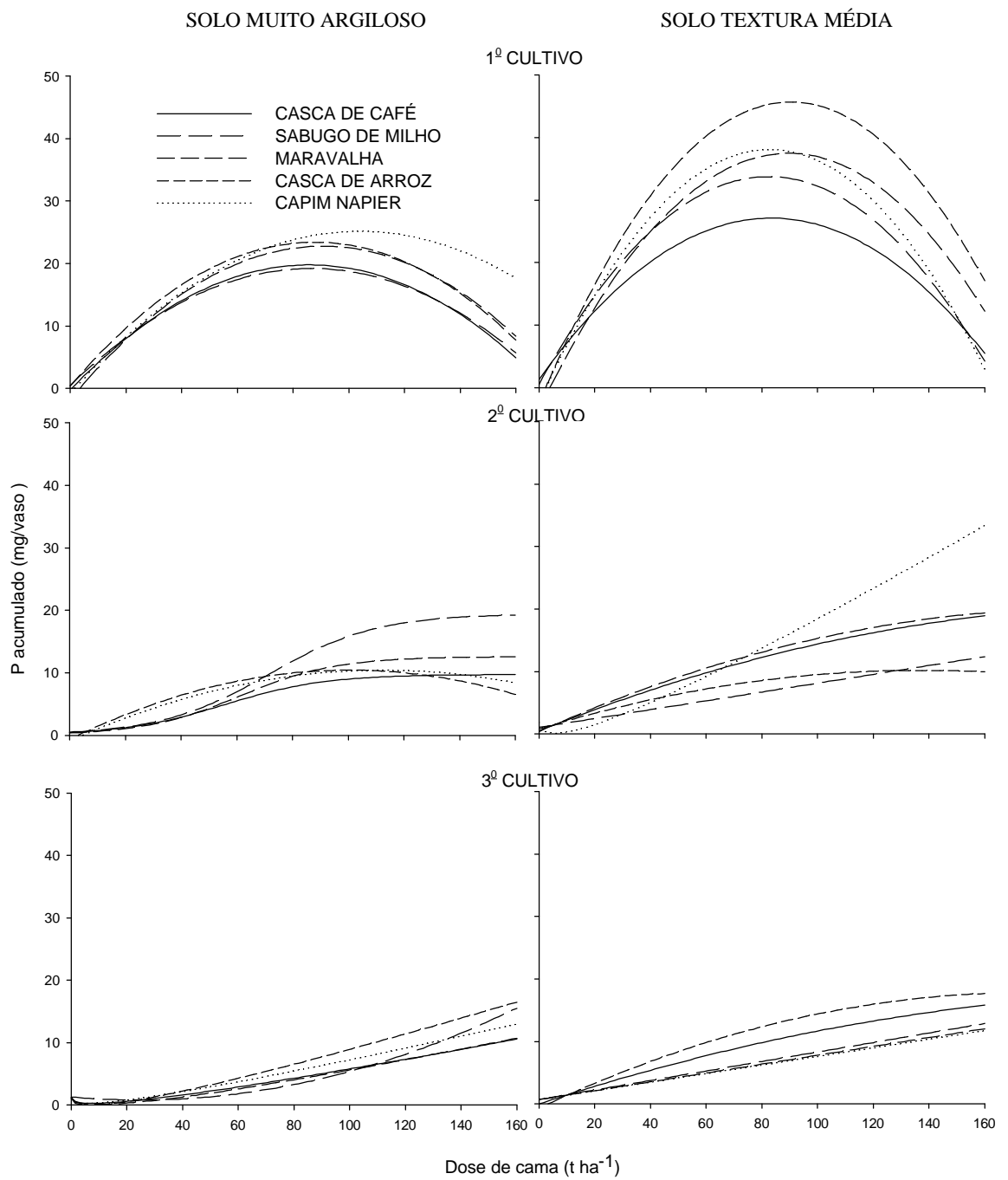


Figura 2 – Conteúdo de P na parte aérea do milho, em três cultivos consecutivos, de acordo com dose de cama de aviário nos Latossolos muito argiloso e textura média, respectivamente.

Tabela 4 – Equações de conteúdo de P na parte aérea do milho (mg/vaso), em função da dose de cama de aviário (t/ha), nos Latossolos muito argiloso e textura média

Solo	Cama	Equação	R ²
1 ^o cultivo			
Muito Argiloso	Casca de café	$= -0,2533 + 0,4659^{***} x - 0,0027^{***} x^2$	0,82
	Sabugo	$= 0,4952 + 0,4323^{***} x - 0,0025^{***} x^2$	0,89
	Maravalha	$= -1,8439 + 0,5434^{***} x - 0,0030^{***} x^2$	0,80
	Casca de arroz	$= 0,3425 + 0,5260^{***} x - 0,0030^{***} x^2$	0,90
	Capim-napier	$= -0,7475 + 0,4985^{***} x - 0,0024^{***} x^2$	0,74
Textura Média	Casca de café	$= 1,3277 + 0,6107^{***} x - 0,0037^{***} x^2$	0,81
	Sabugo	$= 0,4517 + 0,8077^{***} x - 0,0049^{***} x^2$	0,92
	Maravalha	$= -3,5232 + 0,9146^{***} x - 0,0051^{***} x^2$	0,86
	Casca de arroz	$= -2,5568 + 1,0669^{**} x - 0,0059^{**} x^2$	0,57
	Capim-napier	$= -2,3386 + 0,9764^{***} x - 0,0059^{***} x^2$	0,88
2 ^o cultivo			
Muito Argiloso	Casca de café	$= 1 + e^{\frac{9,7318 - \left(\frac{x-55,4329^{**}}{17,9876^{oo}}\right)}{19,4506}}$	0,54
	Sabugo	$= 1 + e^{\frac{19,4506 - \left(\frac{x-71,3404^{***}}{19,4798^{***}}\right)}{12,5894}}$	0,97
	Maravalha	$= 1 + e^{\frac{12,5894 - \left(\frac{x-61,2406^{***}}{17,2406^{***}}\right)}{12,5894}}$	0,94
Textura Média	Casca de arroz	$= -0,6806 + 0,2209^{***} x - 0,0011^{***} x^2$	0,75
	Capim-napier	$= -0,9339 + 0,2019^{**} x - 0,0009^{*} x^2$	0,69
	Casca de café	$= 0,4816 + 0,1791^{***} x - 0,0004^{*} x^2$	0,94
	Sabugo	$= 1,0407 + 0,0709^{*} x$	0,70
	Maravalha	$= 0,4004 + 0,1987^{***} x - 0,0005^{o} x^2$	0,89
	Casca de arroz	$= 0,7814 + 0,1371^{oo} x - 0,0005^{ms} x^2$	0,41
	Capim-napier	$= 1,8350 - 1,4752^{oo} \sqrt{x} + 0,3137^{***} x$	0,89
3 ^o cultivo			
Muito Argiloso	Casca de café	$= 1,0874 - 0,5773^{***} \sqrt{x} + 0,1048^{***} x$	0,97
	Sabugo	$= 1,2714 - 0,0389^{*} x + 0,0008^{***} x^2$	0,99
	Maravalha	$= 1,2508 - 0,7314^{**} \sqrt{x} + 0,1169^{***} x$	0,95
Textura Média	Casca de arroz	$= 1,1252 - 0,8664^{o} \sqrt{x} + 0,1646^{***} x$	0,88
	Capim-napier	$= 0,9969 - 0,5835^{***} \sqrt{x} + 0,1209^{***} x$	0,99
	Casca de café	$= -0,0149 + 0,1467^{***} x - 0,0003^{oo} x^2$	0,93
	Sabugo	$= 0,7008 + 0,076^{o} x$	0,62
	Maravalha	$= 0,6803 + 0,0710^{*} x$	0,77
	Casca de arroz	$= -0,6884 + 0,2107^{*} x - 0,0006^{oo} x^2$	0,79
	Capim-napier	$= 0,6911 + 0,0689^{*} x$	0,68

MS = matéria seca da parte aérea.

^{oo}, ^o, ^{*}, ^{**}, ^{***} Significativos, a 20, 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Observou-se, de modo geral, maior recuperação (aproximadamente duas vezes mais) do P aplicado, via cama de aviário, pelas plantas no solo de textura média no primeiro cultivo (Tabela 5). A eficiência de recuperação caiu com os cultivos sucessivos e as camas de casca de arroz e maravalha estiveram entre aquelas que propiciaram as maiores taxas de recuperação de P pelas plantas de milho. Por outro lado, as camas de casca de café e de sabugo de milho estiveram entre aquelas que propiciaram as menores taxas de recuperação de P.

4. Discussão

A natureza quadrática da resposta das plantas às doses de cama de aviário foi decorrência, provavelmente, do excesso de amônia, principalmente no solo textura média, visto que o pH do solo nessas condições atingiu valores superiores a 7,0. Fato semelhante foi encontrado por Giannello & Ernani (1983), que verificaram toxicidade nas plantas das camas na dose de 144 t ha⁻¹ quando aplicada em solo de textura arenosa.

O maior potencial de suprimento de P pelas camas, verificado no solo de textura média, principalmente para as camas de casca de arroz e sabugo de milho, deve-se à menor capacidade de adsorção de fosfatos deste solo, favorecendo a maior disponibilidade do elemento para o milho, conforme verificado por Bahia Filho (1982); Bahia Filho et al. (1983); Lopes (1992) e Conte et al. (2004).

A maior eficiência das camas de casca de arroz e sabugo de milho parece ser devida a diferenças na sua composição. Como os teores de P dessas camas não diferem grandemente das demais camas (Tabela 2), é possível que esse efeito se deva à labilidade das diferentes formas de P.

A diminuição da produção ao longo dos cultivos sucessivos é explicada pela remoção dos nutrientes pelos cultivos anteriores (Giannello & Ernani, 1983), e pela maior quantidade adsorvida do P mineralizado com o tempo (Gonçalves et al., 1989). Deve-se ressaltar que em estudo paralelo a este, foi observado que cerca de 60 % do P das camas de aviário encontra-se na forma inorgânica e que este, após sua aplicação ao solo, se não absorvido pela cultura, pode ser rapidamente transformado em formas de menor labilidade. Além disso, parte do P que se encontra em formas orgânicas, principalmente aquelas mais lábeis, é rapidamente mineralizado nos primeiros 15 dias de aplicação das camas ao solo (Griffin et al., 2003), ficando sujeito às mesmas perdas que o P inorgânico (Abbott & Tucker, 1973).

Tabela 5 – Recuperação do P em três cultivos de milho nas doses das diferentes camas de aviário estimados para 90 % da produção de matéria seca da parte aérea de milho nos Latossolos muito argiloso e textura média, respectivamente

Solo	Cama	Dose de P para 90 % da MS		P recuperado
		mg/vaso		%
1º cultivo				
Muito Argiloso	Casca de café	583	17,28	2,96
	Sabugo	809	16,66	2,05
	Maravalha	617	21,80	3,53
	Casca de arroz	680	20,23	2,97
	Capim-napier	680	21,27	3,13
				2,93
Textura Média	Casca de café	562	21,75	3,87
	Sabugo	293	14,81	5,05
	Maravalha	586	35,56	6,07
	Casca de arroz	274	21,42	7,82
	Capim-napier	612	35,52	5,80
				5,72
2º cultivo				
Muito Argiloso	Casca de café	724	6,40	0,88
	Sabugo	1.311	14,82	1,13
	Maravalha	884	10,17	1,15
	Casca de arroz	799	9,86	1,23
	Capim-napier	895	10,33	1,15
				1,11
Textura Média	Casca de café	756	10,58	1,40
	Sabugo	1.158	5,88	0,51
	Maravalha	750	11,84	1,58
	Casca de arroz	405	4,08	1,01
	Capim-napier	849	10,75	1,27
				1,15
3º cultivo				
Muito Argiloso	Casca de café	1.318	6,41	0,49
	Sabugo	1.786	8,13	0,45
	Maravalha	1.305	6,60	0,51
	Casca de arroz	1.526	11,27	0,74
	Capim-napier	1.427	8,68	0,61
				0,56
Textura Média	Casca de café	842	9,62	1,14
	Sabugo	1.911	10,41	0,54
	Maravalha	1.449	10,01	0,69
	Casca de arroz	894	12,43	1,39
	Capim-napier	1.076	6,54	0,61
				0,87

Em relação ao P acumulado, observou-se contínua resposta significativa até o terceiro cultivo, indicando que o efeito residual da adubação com as camas de aviário é importante e, portanto, deve ser considerado em estudos que visam avaliar o potencial fertilizante desses materiais. A presença de nutrientes nas formas orgânicas que são liberadas mais lentamente, e assim ficam menos sujeitas a perdas, colaboram substancialmente para aumentar esse efeito residual (Robinson & Sharpley, 1995). Também ficou evidente que o efeito residual dessas camas foi maior no solo mais arenoso.

A maior porcentagem de recuperação do P aplicado com a cama de maravalha pelas plantas em comparação à cama de sabugo de milho indica que, embora a cama de sabugo de milho possua o maior teor de P total dentre as camas avaliadas e sido mais eficiente quanto à dose para obtenção de 90 % de produção de matéria seca, esta maior quantidade disponibilizada estaria sendo rapidamente adsorvida de forma pouca ou não reversível (“fixada”) pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al dos solos, deixando uma menor quantidade disponível para as plantas (Novais & Smyth, 1999). A eficiência dessas camas de aviário em suprir P, portanto, vai depender não apenas das quantidades totais do nutriente presente, mas também do balanço entre as formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de labilidade.

Estudos adicionais em campo serão necessários para aperfeiçoar as recomendações de doses ideais para cada tipo de cama de aviário, de acordo com o tipo de solo e cultura. Também será necessário determinar a natureza do Po nas camas de aviário e sua labilidade para as plantas.

5. Conclusões

As doses de cama de aviário necessárias para o mesmo crescimento do milho são menores em solos mais arenosos. Recomenda-se, com base nos resultados para três cultivos sucessivos, a dose em torno de 70 e 60 t ha⁻¹ incorporada a uma profundidade de 0-20 cm para os solos argilosos e arenosos, respectivamente.

As camas de casca de arroz e de sabugo de milho são as que apresentaram maior eficiência agrônômica em ambos os solos.

As camas de aviário apresentaram efeito residual expressivo e isso deve ser levado em conta nos programas de adubação.

6. Literatura Citada

- ABBOTT, J.L. & TUCKER, T. Persistence of manure P availability in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:60-63, 1973.
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Bol. Inf. SBCS*, 25:27-34, 2000.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. 1982.148 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:243-249, 1983.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- CASSOL, P.C.; GIANELLO, C. & COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:635-644, 2001.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:893-900, 2003.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- GIANELLO, C. & ERNANI, P.R. Rendimento de matéria seca de milho e alterações na composição química do solo pela incorporação de quantidades crescentes de cama de frangos, em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:285-290, 1983.
- GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & RIBEIRO, A.C. Cinética de transformações de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:13-24, 1989.
- GRIFFIN, T. S.; HONEYCUTT, C. W. & HE, Z. Changes in soil phosphorus from manure application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:645-653, 2003.
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. New Jersey: Prentice-Hall, 1958. 498 p.

- LOPES, L.R. Comparação de métodos de determinação de fósforo orgânico e dinâmica das formas de P no solo sob diferentes tempos de incubação, doses de calcário e de fosfato. 1982. 81f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 21:144-149, 1957.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^a aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. 359p.
- ROBINSON, J.S. & SHARPLEY, A.N. Release of nitrogen and phosphorus from poultry litter. J. Environ. Qual., 24:62-67, 1995.
- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa: UFV. 2004. 22p. (Material de aula).
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, 1974. 56p.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).

TRANSFORMAÇÕES DE FRAÇÕES DE FÓSFORO DE CAMAS DE AVIÁRIO

Resumo: A necessidade de se conhecer a dinâmica de P em dejetos de animais é importante para o desenvolvimento de estratégias de manejo que visem suprir as exigências das culturas e evitem a poluição ambiental. O presente trabalho objetivou avaliar a participação de formas orgânicas e inorgânicas de P em diferentes camadas de aviário e sua dinâmica de transformações, na ausência e na presença de solo, utilizando-se fracionamento químico tradicional e ressonância magnética nuclear de ^{31}P (^{31}P -RMN). Foram conduzidos três ensaios; no primeiro, determinaram-se os teores das formas orgânicas de P (Po) e inorgânicas (Pi) de camadas de aviário e as transformações que ocorreram nessas formas após incubação com solo argiloso por 15 dias, utilizando-se fracionamento químico. No segundo, utilizou-se esse mesmo método de fracionamento para avaliar a cinética de mineralização do Po de cama de casca de arroz incubada na ausência ou presença de solo muito argiloso, por um período de 43 dias. No terceiro ensaio foi feito uso de ^{31}P -RMN para identificar as formas de Po em camadas de aviário e avaliar as suas transformações quando incubadas com solo por um período de 43 dias. Os resultados mostraram que uma grande proporção do P nas camadas de aviário encontra-se na forma orgânica, embora estas tenham correspondido a 39 % pelo fracionamento químico e 19,9 % pelo ^{31}P -RMN. Os ortofosfatos de monoésteres são as formas de Po predominantes nas camadas de aviário (15,1 % do P extraído por água), porém, os ortofosfatos de diésteres estão presentes em teores apreciáveis (4,7 % do P extraído por água) e disponibilizam Pi mais rapidamente. A mineralização do Po foi relativamente rápida nos primeiros 15 dias, mas existiu diferença significativa nas taxas de transformação de Po em Pi entre as camadas, sendo que na presença de solo a cama de casca de café teve maior taxa de mineralização de Po (44,7 %), enquanto a menor taxa foi observada para a cama de maravalha (4,9 %).

Palavras-chave: ^{31}P -RMN; fósforo orgânico; fracionamento de fósforo.

TRANSFORMATIONS OF PHOSPHORUS FRACTION OF POULTRY LITTERS

Abstract: The need to understand the dynamics of P in animal manures is important to develop management strategies that take into account the crop requirements and avoid environmental pollution. The objective of the present study was to evaluate the participation of organic and inorganic P forms of different poultry litters and the dynamics of their transformation, in the absence and in the presence of soil, using wet chemical fractionation and ^{31}P – Nuclear Magnetic Resonance (^{31}P - NMR). Three experiments were carried out: in the first experiment it was determined the content of organic (Po) and inorganic (Pi) phosphorus of poultry litters and their transformation after incubation with a clayey soil for 15 days by wet chemical fractionation. In the second experiment the same wet chemical fractionation was used to evaluate the kinetics of mineralization of Po of rice husk litter incubated in the absence and in the presence of a clayey soil for a period of 43 days. In the third experiment it was used ^{31}P - NMR to identify the Po forms present in the poultry litters and to evaluate their transformation when incubated with soil for 43 days. The results showed that a large proportion of P in the poultry litters is found in organic forms: 39% based on the wet chemical fractionation and 19.9% based on ^{31}P - NMR. The monoester orthophosphates are the dominant Po forms in the poultry litter (15.1% of water-extractable P), but the diester orthophosphate were also present in a substantial amount (4.7% of water-extractable P) and released Pi more rapidly. The mineralization of Po was relatively fast in the first 15 days of incubation, but the transformation rates differed significantly among litters – in the presense of soil the coffee bean skin presented the highest mineralization of Po (44.7%), whereas the lowest rate was observed for the wood chip litter (4.9%).

Key words: ^{31}P – NMR; organic phosphorus; phosphorus fractionation.

1. Introdução

O conhecimento das formas e da dinâmica de transformações do P em dejetos de animais é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo que visem suprir as exigências das culturas e evitem a poluição ambiental.

O P é um dos nutrientes que tem recebido maior atenção em pesquisas envolvendo adubos orgânicos, incluindo as camas de frango, principalmente por sua ligação direta com o fenômeno de eutroficação de corpos d'água (Daniel et al., 1998). Além disso, de 40 a 90 % do P do solo encontra-se em formas orgânicas (Stevenson, 1994).

Nesse sentido, diversos trabalhos têm sido conduzidos para caracterizar as formas de P em esterco. Em trabalho pioneiro, Peperzak et al. (1959) analisaram vários dejetos de animais e verificaram que o P de formas orgânicas (Po) constituía aproximadamente 30 % do P total. No esterco de aves eles encontraram 21 % de Po, dos quais 60 % eram de fosfatos de inositol (ortofosfato de monoéster). Cassol et al. (2001) relataram que 1/4 do P na cama de aviário foi recuperado na forma orgânica, enquanto no esterco bovino esta proporção ficou em torno de 1/6, evidenciando a menor capacidade de hidrólise de fosfatos orgânicos, principalmente pelas fitases encontradas no aparelho digestivo das aves em relação ao de bovinos (Turner et al., 2002b).

Um grande número de técnicas tem sido utilizado na caracterização e quantificação de diferentes formas de P no meio natural e em adubos orgânicos. Uma que tem possibilitado avanços expressivos no conhecimento sobre o Po dos solos e adubos orgânicos é a espectroscopia de ressonância magnética nuclear do ^{31}P (^{31}P -RMN) (Newman & Tate, 1980; Hinedi et al., 1988; Bowman & Moir, 1993; Robinson et al., 1998; Rubaek, 1999; Cade-Menum et al., 2002; McDowel et al., 2002; Turner & McKelvie, 2002; Hansen et al., 2004). Estudos utilizando essa técnica têm verificado que entre as diversas formas de P nos solos e adubos orgânicos destacam-se os fosfatos inorgânicos (ortofosfatos, pirofosfatos e polifosfatos) e orgânicos (ortofosfatos de monoésteres, ortofosfatos de diésteres e fosfonatos) (Newman & Tate, 1980; Cade-Menum & Preston, 1996; Rubaek et al., 1999; Turner & McKelvie, 2002; Koopmans et al., 2003; Hansen et al., 2004).

Além das formas de P nos dejetos de animais, o uso desses materiais como adubo orgânico deve levar em conta que o aproveitamento das formas de Po dos esterco e dos solos varia com a espécie vegetal. Hayes et al. (2000b) e Richardson et al.

(2001) verificaram que espécies de gramíneas e leguminosas de pastagem possuíam limitada capacidade para obter P de hexafosfato de myo-inositol (ácido fítico) quando crescendo em meio estéril. Richardson et al. (2000) chegaram às mesmas conclusões trabalhando com trigo. Por outro lado, a disponibilidade de P para o trigo foi aumentada quando suprido com hexafosfato de inositol e inoculado com microrganismos do solo ou uma espécie isolada de *Pseudomonas sp.* com reconhecida capacidade de liberar P de hexafosfato de inositol. O *Pinus radiata* também é capaz de aproveitar formas de Po, inclusive ácido fítico, em solos de clima temperado e essa habilidade é maior que aquela do “ryegrass” (Chen et al., 2004).

As transformações das diferentes formas de P de camas de aviário aplicadas em solos altamente intemperizados são pouco conhecidas. Pouco se conhece também sobre a dinâmica de sua mineralização. O presente estudo teve como objetivos avaliar a participação de formas orgânicas e inorgânicas de P em diferentes camas de aviário e sua dinâmica de transformações, na ausência e na presença de solo, utilizando-se fracionamento químico tradicional e ressonância magnética nuclear de ^{31}P (^{31}P -RMN).

2. Material e Métodos

Foram conduzidos três ensaios; no primeiro, determinaram-se os teores de Po e Pi de cinco camas de aviário e as transformações que ocorreram nessas formas após incubação com solo argiloso por 15 dias, utilizando-se fracionamento químico pelo método de Bowman (Bowman, 1989). No segundo, utilizou-se esse mesmo método de fracionamento químico para avaliar a cinética de mineralização do Po de cama de casca de arroz incubada na ausência ou presença do solo argiloso, por um período de 43 dias. Uma vez que o fracionamento químico tradicional não permite caracterizar as formas de P presentes, no terceiro ensaio foi feito uso de ^{31}P -RMN para identificar as formas orgânicas de P em cinco camas de aviário e avaliar suas transformações quando da sua incubação com e sem solo.

2.1. Camas de aviário e solo

Os solos utilizados nos ensaios foram um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, coletados na profundidade de 20 a 40 cm, para minimizar a interferência do Po mais elevado da

camada superficial. Os solos foram secados ao ar e passados por peneira de malha de 4 mm. Deste material foram retiradas subamostras para caracterização, que foram passadas em peneira de malha de 2 mm e submetidas às análises química e física (Tabela 1, página 8).

Nos ensaios foram utilizadas cinco camas de aviário: casca de café, sabugo de milho, maravalha, casca de arroz e capim-napier. Essas camas foram coletadas em aviários de frango de corte no município de Guiricema-MG, depois de utilizadas como cama em um lote de frangos por 48 dias, em média, na densidade de 15 aves/m². Depois da coleta, foram secadas ao ar e passadas em triturador de forragem para, então, serem aplicadas ao solo. Subamostras de cada cama foram secadas em estufa a 70 °C, passadas em moinho com peneira de 0,5 mm e analisadas quimicamente (Tabela 2, página 9). Os teores de CO foram determinados por dicromatometria (Yeomans & Bremner, 1988), N por combustão a seco, em analisador elementar, e P por colorimetria (Murphy & Riley, 1962), após digestão nítrico-perclórica.

2.2. Ensaio 1 – Fósforo orgânico e inorgânico em camas de aviário antes e após incubação com solo argiloso, determinados por meio de fracionamento químico

Os cinco tipos de cama de aviário foram aplicados a 1,5 dm³ do Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso em dose equivalente a 40 t ha⁻¹. Em seguida, os vasos foram incubados em condição de casa de vegetação, com umidade de 80 % da capacidade de campo.

Amostras de solo foram coletadas logo em seguida à aplicação das camas de aviário (0 dia de incubação) e 15 dias após sua incubação com o solo, para se fazer a determinação de Po e Pi pelo método de Bowman (1989). A taxa de mineralização do Po foi inferida através da porcentagem de redução de Po ou o aumento de Pi após o tempo de incubação.

Subamostras de cada cama de aviário foram inicialmente caracterizadas quanto aos teores de Po e Pi, utilizando-se o método de Bowman. A marcha analítica desse método foi a seguinte: em erlenmeyer de 125 mL foram pesados 2,00 g de solo e de cama e colocados para agitar com 3 mL de H₂SO₄ concentrado mais 4 mL de água destilada (adicionada lentamente, 1 mL por vez, agitando-se o frasco após cada adição). Em seguida, as paredes dos frascos foram lavadas com 10 mL de água destilada e estes

foram agitados vigorosamente. O material foi transferido quantitativamente para balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água destilada. O balão foi agitado e a suspensão filtrada em papel de filtro tipo Whatman 42. Uma alíquota deste filtrado foi usada para determinação de P_i enquanto outra foi submetida à digestão nítrico-perclórica. O extrato digerido, depois de frio, teve seu volume completado para 50 mL com água destilada e então foi usado para determinação do P total em ácido. Nos extratos, a determinação do P_i diretamente e do P total após a digestão foi feita colorimetricamente segundo Murphy & Riley (1962). O P_o foi obtido pela diferença entre P total e P_i . O solo retido no balão foi transferido quantitativamente para o papel de filtro, o qual foi lavado com água destilada, deixando-se drenar completamente e descartando-se a água de lavagem, porém guardando o papel com o solo para determinação de P em hidróxido. Para a determinação do P em meio básico, o papel de filtro com o solo foi colocado em um erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 98 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e agitando-o por 120 min em agitador mecânico. Depois desse período, o material foi filtrado, seguindo-se a análise de P_i , P total e estimativa do P_o como anteriormente. Desta maneira, os teores das duas formas de P determinadas foram obtidos somando-se os valores respectivos dos tratamentos ácido e básico.

2.3. Ensaio 2 – Cinética de mineralização do fósforo orgânico de cama de casca de arroz incubada na ausência ou presença de solo, avaliada por meio de fracionamento químico

Nesse estudo foi incubada a cama de casca de arroz pura ou com $1,5 \text{ dm}^3$ de um Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso com dose equivalente a 40 t ha^{-1} de cama de casca de arroz, em vaso de 2 dm^3 . No tratamento com presença de solo, a mistura solo e cama de casca de arroz foi umedecida uniformemente até atingir 80 % da capacidade de campo. O mesmo procedimento de umedecimento foi repetido para os vasos com a cama pura. Os vasos foram incubados sob condição de casa de vegetação por um período de 43 dias. Amostras de solo foram coletadas de cada vaso aos 0, 15, 22, 29, 36 e 43 dias após a incubação.

A taxa de mineralização foi inferida através da diminuição do P_o ou aumento do P_i .

Nas amostras de cama ou solo mais cama coletadas nos diferentes períodos, foi feita o fracionamento do P_o e P_i , de acordo com o método de Bowman.

2.4. Ensaio 3 – Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em camas de aviário e suas transformações, avaliadas por meio de ^{31}P -RMN

O ensaio consistiu na incubação de cinco tipos de camas de aviário, na ausência de solo, por um período de 43 dias. As camas foram incubadas em vasos plásticos de 2 dm^3 , sob condições de casa de vegetação, e com a umidade mantida em torno do equivalente de umidade de -30 kPa por meio de pesagens diárias dos vasos.

Amostras das camas foram coletadas logo após o início da incubação (0 dia) e 43 dias de incubação. A única exceção foi para a cama de maravalha, que foi amostrada aos 0, 15, 22, 29, 36 e 43 dias de incubação.

As amostras coletadas foram secas em estufa a $70\text{ }^\circ\text{C}$ e armazenadas para posterior identificação das formas orgânicas e inorgânicas de P por ^{31}P -RMN. Para essa caracterização espectroscópica foram usadas amostras compostas, originadas da mistura das três repetições.

Em um ensaio paralelo amostras de cama de maravalha ou cama de maravalha mais o solo argiloso, incubadas por um período de 15 dias, foram usadas para testar a água ou uma solução de $0,25\text{ mol L}^{-1}$ de NaOH e $0,05\text{ mol L}^{-1}$ de EDTA como extratores de P, com tempos de agitação de 1 ou 16 h.

Para a extração das amostras com água, pesaram-se $5,00\text{ g}$ de cama de aviário ou cama de aviário mais solo e adicionaram-se 25 mL de água, agitou-se por 1 h, sendo que para alguns tratamentos agitou-se por 16 h, a 150 rpm . Procedeu-se a centrifugação por 10 min a 509 g e filtrou-se o sobrenadante em filtro lento. As amostras foram então congeladas e liofilizadas. Deste material liofilizado, pesaram-se 50 mg , os quais foram congelados até o momento da determinação das formas de P por ^{31}P -RMN.

Na extração com NaOH-EDTA seguiu-se o método proposto por Turner et al. (2003). Para isto, agitaram-se $5,00\text{ g}$ de solo ou cama de aviário com 100 mL de solução contendo $0,25\text{ mol L}^{-1}$ de NaOH e $0,05\text{ mol L}^{-1}$ de EDTA por 16 h. Da mesma forma que para a água, alguns tratamentos foram agitados por 1 h. Os extratos foram centrifugados por 10 min, a 509 g , e o sobrenadante filtrado em filtro lento. Esses extratos foram congelados e liofilizados. Depois da liofilização, pesaram-se o correspondente a 50 mg do material para determinação das formas de P por ^{31}P -RMN.

No dia da análise por ^{31}P -RMN, os 50 mg dos materiais liofilizados foram reconstituídos em hidróxido de sódio deuterado ($\text{NaOD } 0,2\text{ mol L}^{-1}$) e transferidos para tubos de RMN de 5 mm . Os espectros foram obtidos em um espectrômetro de

ressonância magnética nuclear (Varian Mercury, 300 MHz), com condições de leitura similares às sugeridas por Turner et al. (2003). A identificação dos compostos baseou-se no seu deslocamento químico relativo ao ácido ortofosfórico 85 cL/L. As classes gerais de compostos nos extratos e seus respectivos deslocamentos químicos foram alocados de acordo com a literatura (Turner et al., 2003; Chen et al., 2004; Hansen et al., 2004): fosfonatos 19 ppm, ortofosfato inorgânico, aproximadamente 6,1 ppm, ortofosfato de monoéster 3 a 6 ppm, ortofosfato de diéster, entre -0,5 e 2 ppm, pirofosfato em torno de -4 ppm e polifosfatos inorgânicos -20 ppm.

As condições de leitura do aparelho utilizadas para a ^{31}P RMN, foram as seguintes:

- tempo de aquisição, $t_{ac} = 1,00$;
- largura espectral, $sw = 10.000$;
- largura do pulso (pw 30), $pw = 6,00$;
- tempo de espera entre os pulsos, $d1 = 0,80$;
- número de pulsos, $nt = 10.000$; e
- tempo de análise: 5 horas e 20 minutos.

A participação percentual de cada grupo de composto fosfatado foi calculada dividindo-se o valor da área espectral sob as diferentes bandas pela área total integrada.

Nos três ensaios utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância, regressão, e comparação de médias pelo teste de Tukey.

3. Resultados

3.1. Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em camas de aviário antes e após incubação com solo argiloso, determinadas por meio de fracionamento químico

Não houve variações entre as camas de aviário para os teores de CO e N total; todavia, o teor de P total foi mais elevado na cama de sabugo de milho (Tabela 2.1). As camas também não diferiram quanto às relações C/N e C/P, que foram baixas: média de 13,3 e 28,8, respectivamente, pois segundo Dalal (1977) e Sharpley & Smith (1989), a mineralização de P orgânico de resíduos de culturas geralmente ocorre para proporções C/N igual ou menores que 200:1.

Tabela 1 – Teores de CO, N, P total e relações C/N e C/P de camas de aviário

Tipo de cama	CO	N	P	C/N	C/P
	-----g kg ⁻¹ -----				
Casca de café	391a	32,8a	14,4b	11,9a	27,2a
Sabugo de milho	510a	34,2a	18,6a	14,9a	27,4a
Maravalha	391a	30,9a	13,7b	12,6a	28,5a
Casca de arroz	491a	34,7a	15,9b	14,2a	30,9a
Capim-napier	449a	34,8a	15,1b	12,9a	29,8a
Média	446	33,0	16,0	13,3	28,8

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Verificou-se que os teores de Pi foram maiores na cama de casca de arroz, enquanto o menor foi observado para a cama de casca de café, embora esta não diferenciasse estatisticamente das camas de maravalha e sabugo de milho (Tabela 2). O mesmo padrão de comportamento foi observado para o Po, que teve os teores extremos na cama de casca de arroz com o maior teor e a cama de casca de café com o menor.

Tabela 2 – Teores de P total, Pi e Po nas camas de aviário conforme o método de Bowman (1989)

Tipo de cama	P total	Pi	Po	Po
		-----g kg ⁻¹ -----		%
Casca de café	14,4c	9,8c	4,7b	32
Sabugo de milho	18,2b	10,8bc	7,4ab	40
Maravalha	17,1c	10,5bc	6,7ab	39
Casca de arroz	21,9a	13,1a	8,8a	40
Capim-napier	19,0ab	10,9b	8,0ab	42
Média	18,1	11,0	7,1	39

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Observou-se que o Pi foi a fração de P dominante, correspondendo, em média, a 61 % do P total. A menor proporção de Po foi encontrada na cama de casca de café (32 %) e a maior na de capim-napier (42 %).

Em relação às camas de aviário, observou-se que, em média, o teor de Po foi de 39 % do P total, que é maior que os 21 % encontrados por Peperzak et al. (1959) em esterco de aves. Para camas coletadas em aviários no Rio Grande do Sul, em que o substrato e o número de lotes de frango criados não foram informados, utilizando-se fracionamento de Hedley modificado, Cassol et al. (2001) encontraram que 25 % do P total estava na forma orgânica. Utilizando um fracionamento seqüencial de P

semelhante, Sharpley & Moyer (2000) reportaram que em cama de casca de pinus (três lotes, com densidade de 1,31 aves/m²), o Po estava em torno de 9 %. Essa grande diferença na proporção de Po parece refletir as diferenças entre métodos empregados no fracionamento e também a dieta das aves, a composição e o manejo diferenciado das camas de aviário.

Quando as camas de frango foram misturadas ao solo argiloso e extraiu-se o Po e Pi logo em seguida (pré-incubação), não houve diferença estatística quanto ao Po entre elas (Tabela 3). Verificou-se que a cama de casca de arroz apresentou o maior teor de Pi, que diferiu apenas do solo com cama de casca de café, sendo que as demais camas misturadas ao solo apresentaram teores de Pi intermediários. Depois de 15 dias de incubação das camas com o solo, houve um decréscimo nos teores de Po e acréscimo nos teores de Pi.

Tabela 3 – Teores de fósforo orgânico (Po) e inorgânico (Pi) em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso, antes e após a incubação por 15 dias com dose correspondente a 40 t ha⁻¹ de diferentes camas de aviário. Números entre parênteses representam a mudança percentual em relação ao tempo 0 no Po e Pi após o período de incubação

Tipo de cama	Pré-incubação		Pós-incubação	
	Po	Pi	Po	Pi
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Casca de café	105,2a*	210,4b	58,2b (-44,7)	256,1ab (21,7)
Sabugo de milho	143,2a	245,0ab	107,5a (-24,9)	255,2ab (4,2)
Maravalha	105,1a	217,9ab	100,0ab (-4,90)	220,0b (1,0)
Casca de arroz	131,4a	252,0a	114,8a (-12,6)	281,3a (11,6)
Capim-napier	122,4a	214,7ab	107,7a (-12,0)	246,5ab (14,8)
Média	121,5	228,0	97,6 (-19,7)	251,8 (10,4)

* Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

A estimativa dos percentuais de mineralização de Po das camas de aviário neste período foi: casca de café (45 %), sabugo de milho (25 %), casca de arroz (13 %), capim-napier (12 %) e maravalha (5 %). Pode ser observado que para a cama de casca de café ocorreu maior mineralização (decréscimo de Po), seguida pela cama de sabugo de milho, embora nesta não se tenha observado grande acréscimo de Pi após os 15 dias. A cama de maravalha quase não apresentou decréscimo de Po com o tempo de incubação, o que mostra uma mineralização lenta para um período de 15 dias (Tabela 3). Também ficou evidente que as camas com maiores taxas de mineralização do Po contribuíram para maiores incrementos no Pi do solo, embora esse aumento seja

proporcionalmente menor do que o P mineralizado. Ao final do período de incubação, o solo adubado com a cama de casca de arroz apresentava os teores de Pi mais elevados, enquanto para a cama de maravalha o oposto foi observado (Tabela 3).

3.2. Cinética de mineralização das formas de fósforo orgânico de cama de casca de arroz após incubação sem ou com adição ao solo, avaliada por meio de fracionamento químico

Com a incubação da cama de casca de arroz na ausência de solo, observou-se que as maiores taxas de mineralização do Po ocorreram nos primeiros 15 dias de incubação, com cerca de 50 % do Po mineralizado, tendendo a se estabilizar nos períodos seguintes e, até mesmo, a aumentar o teor de Po no final do experimento (Figura 1). Os incrementos do Pi foram de maneira linear com o tempo de incubação. Já quando a cama de casca de arroz foi incubada com solo, verificou-se um decréscimo linear mais brando do Po com o tempo de incubação. De maneira paralela à redução da fração de Po, houve um incremento linear nos teores de Pi até os 43 dias de incubação (Figura 1). Ao final desse período de incubação da cama com solo, a proporção do Po decresceu cerca de 41 % (de 34 para 20 %), que foi menor do que o decréscimo observado para a cama incubada na ausência de solo, 49 % aproximadamente (de 41 para 21 %).

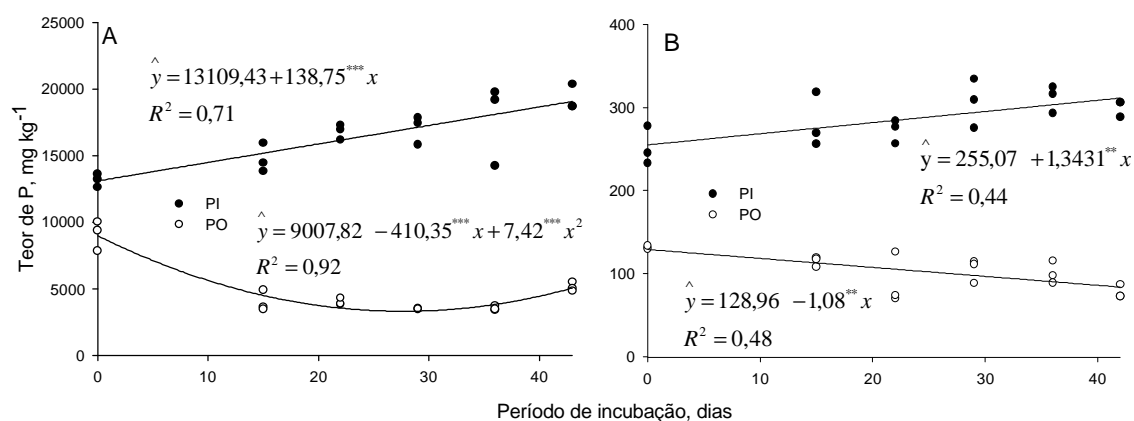


Figura 1 – Teores de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) da cama de casca de arroz incubada pura (A) ou misturada ao solo (B) na dose correspondente a 40 t ha⁻¹, de acordo com o tempo de incubação.

O Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso que foi usado nos experimentos apresenta uma elevada CMAP (2,48 mg g⁻¹ de P) e sob condições naturais a maior parte do P nativo encontra-se na forma orgânica. De um teor de P total (Pi + Po) extraído pelo método de Bowman de 184,6 mg kg⁻¹, 122,4 (80%) estavam na forma orgânica e 62,2 na forma inorgânica. Outros estudos também têm reportado proporções equivalentes para um grande número de solos (Bowman, 1989; Turner et al., 2002; Koopmans et al., 2003; Chen et al., 2004).

3.3. Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em camas de aviário e suas transformações, avaliadas por meio de ³¹P-RMN

3.3.1. Extração de fósforo por água e NaOH-EDTA da cama de aviário sem e com a adição ao solo

Como os métodos tradicionais de fracionamento químico de P não permitem identificar os compostos ou grupos de compostos fosfatados nas amostras, nessa fase do trabalho buscou-se entender melhor a especiação do P utilizando-se ³¹P-RMN. Verificou-se que os extratores diferiram quanto às formas de P extraídas. Para 1 h de agitação, o P extraído da cama de maravalha com o NaOH-EDTA era composto por 71,1 % de ortofosfato inorgânico; 22,3 % de ortofosfato de monoéster; 6,5 % de ortofosfato de diéster e 0,1 % de pirofosfato (Figura 2). Nessa mesma cama, com a mesma 1 h de agitação na extração por água, o P era composto por 91,4 % de ortofosfato inorgânico; 4,4 % de ortofosfato de monoéster; 4,2 % de ortofosfato de diéster e 0 % de pirofosfato (Figura 2). Quando se aumentou o tempo de agitação de 1 para 16 h com NaOH-EDTA, também se alterou o perfil dos compostos fosfatados extraídos. O P extraído nessa situação era composto por 70,6 % de ortofosfato inorgânico; 28,2 % de ortofosfato de monoéster; 0,82% de ortofosfato de diéster e 0,3 % de pirofosfato (Figura 2).

A capacidade de extração do NaOH-EDTA (por 16 h) foi testada em solo muito argiloso e em solo textura média. A extração por água também foi testada no solo muito argiloso. Nos solos que haviam sido fertilizados com cama de maravalha, pôde-se observar que os compostos fosfatados extraídos com o NaOH-EDTA e água diferiram grandemente daqueles observados quando utilizou-se apenas a cama. No solo argiloso, apenas um pico correspondente ao ortofosfato inorgânico foi observado. O mesmo comportamento foi encontrado quando se extraiu esse solo com água (Figura 2). No

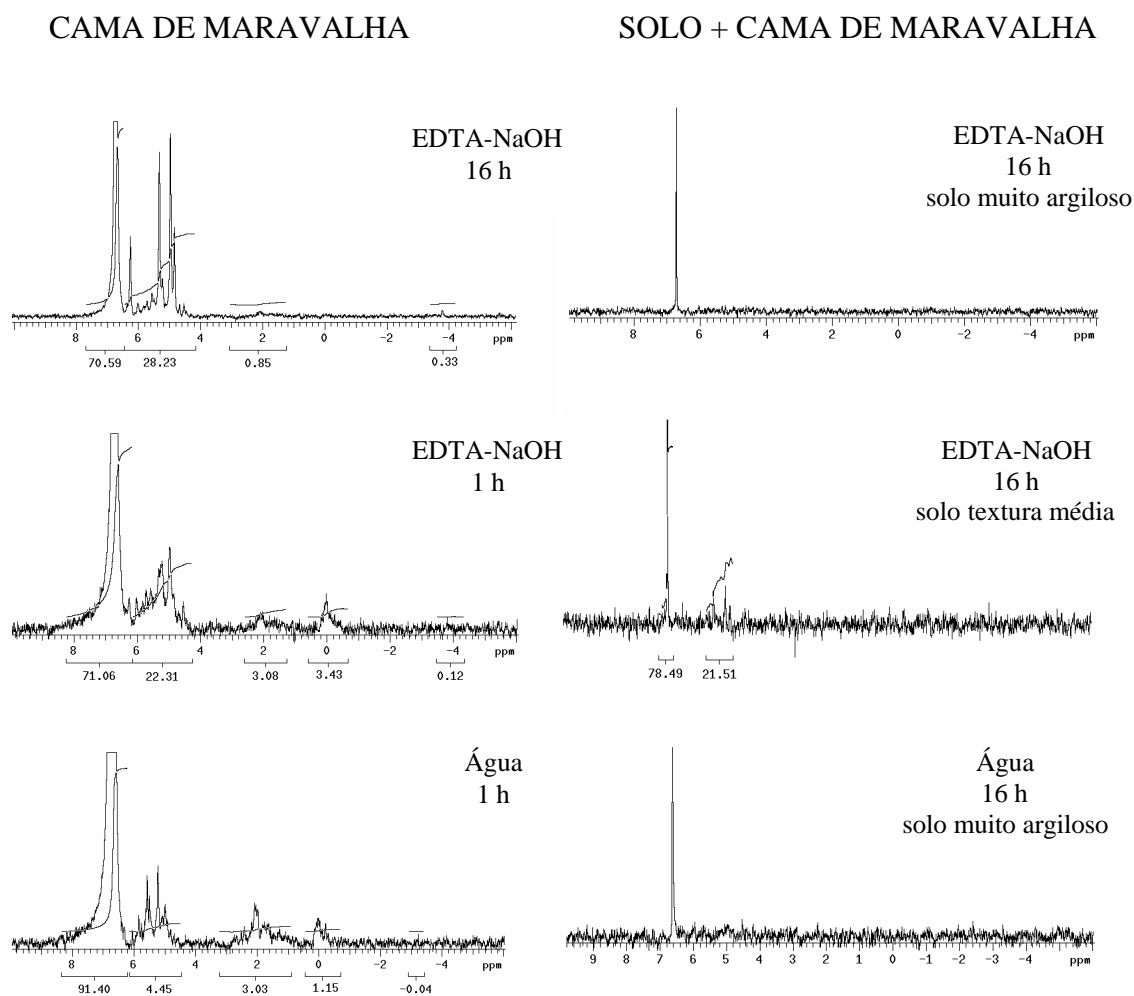


Figura 2 – Espectros de ^{31}P -RMN para compostos fosfatados presentes em cama de maravalha incubada pura e com adição ao solo muito argiloso e textura média, por um período de 15 dias, extraídos por água ou EDTA-NaOH, com 1 e 16 h de agitação.

solo mais arenoso, os compostos fosfatados extraídos por NaOH-EDTA foram: ortofosfato inorgânico (78,5 %) e ortofosfato de monoéster (21,5 %). Os ortofosfatos de diéster ou pirofosfato não foram detectados em nenhuma amostra dos solos.

3.3.2. Especificação de fósforo de camas de aviário antes e após incubação (sem solo)

A análise de ^{31}P -RMN das camas de aviário mostrou que antes da incubação, as formas inorgânicas e orgânicas de P eram, em média, 80,2 % e 19,8 %, respectivamente (Tabela 4). O Pi é constituído principalmente por ortofosfato inorgânico (99,9 %) e uma pequena porcentagem de pirofosfato. Nas formas orgânicas predominaram os

Tabela 4 – Distribuição relativa do P total em diferentes formas de P inorgânico (Pi) e orgânico (Po), em cinco camas de aviário, antes e após a incubação (43 dias) e taxa de mineralização das formas orgânicas

Cama	0 dia de incubação				43 dias de incubação				Mineralização	
	Pi		Po		Pi		Po		Mon.	Diés.
	Ort.	Pirof.	Mon.	Diés.	Ort.	Pirof.	Mon.	Diés.		
	----- % -----									
CAF	86,3	0,0	12,2	1,5	94,2	0,2	5,1	0,5	58	67
SAB	84,9	0,2	13,6	1,3	88,5	0,0	11,5	0,0	15	100
MAR	60,0	0,0	23,7	16,3	92,6	0,3	6,7	0,4	72	97
ARR	84,6	0,1	13,9	1,4	91,4	0,0	8,6	0,0	38	100
CAP	84,8	0,1	12,2	2,9	85,2	0,4	14,5	0,0	0	100
Média	80,1	0,1	15,1	4,7	90,4	0,2	9,3	0,2	38	96

CAF: cama de casca de café; SAB: cama de sabugo de milho; MAR: cama de maravalha; ARR: cama de casca de arroz; CAP: cama de capim-napier; Ort.: ortofosfato inorgânico; Mon.: ortofosfato de monoéster; Diés.: ortofosfato de diéster; e Pirof.: pirofosfato.

ortofosfatos de monoésteres (76,3 %), com uma participação média de 15,1 % para o P total, enquanto os ortofosfatos de diésteres compunham 4,7 %. Esses resultados não diferem grandemente daqueles reportados para cama de frango (substrato e manejo de aves não informados) por Koopmans et al. (2003), que observaram que 78,5 % do P total era inorgânico (77 % ortofosfato inorgânico e 1,5% pirofosfato) e 23 % era Po, sendo este constituído por 17,9 % de ortofosfato de monoésteres, 0 % de ortofosfato de diésteres e 3,6 % de diésteres aromáticos. Dentre as camas avaliadas, a de maravalha foi a que mais se diferenciou, pois apresentou 60 % de Pi e 40 % de Po (Figura 3). Novamente, a cama de maravalha foi a que mais se diferenciou, quanto às formas orgânicas, apresentando maior percentual de ortofosfato de monoéster (23,7 %) e maior proporção de ortofosfato de diéster (16,3 %) (Figura 3 e Tabela 4).

Quando essas camas de aviário foram incubadas por 43 dias, pôde-se observar que, em média, houve mineralização de 96 % das formas de ortofosfato de diéster e de 38 % das formas de ortofosfato de monoéster (Tabela 4). Comparando-se as camas de aviário, verificou-se que nas de sabugo de milho, casca de arroz e capim-napier, 100 % do ortofosfato de diéster foi mineralizado em 43 dias de incubação, enquanto nas camas de casca de café e maravalha 67 e 97 % dos ortofosfato de diéster, respectivamente, foram mineralizados (Tabela 4). Para as formas de ortofosfato de monoéster, a cama de maravalha foi a que mais mineralizou (72 %), seguida da cama de casca de café que foi de 58 % (Tabela 4).

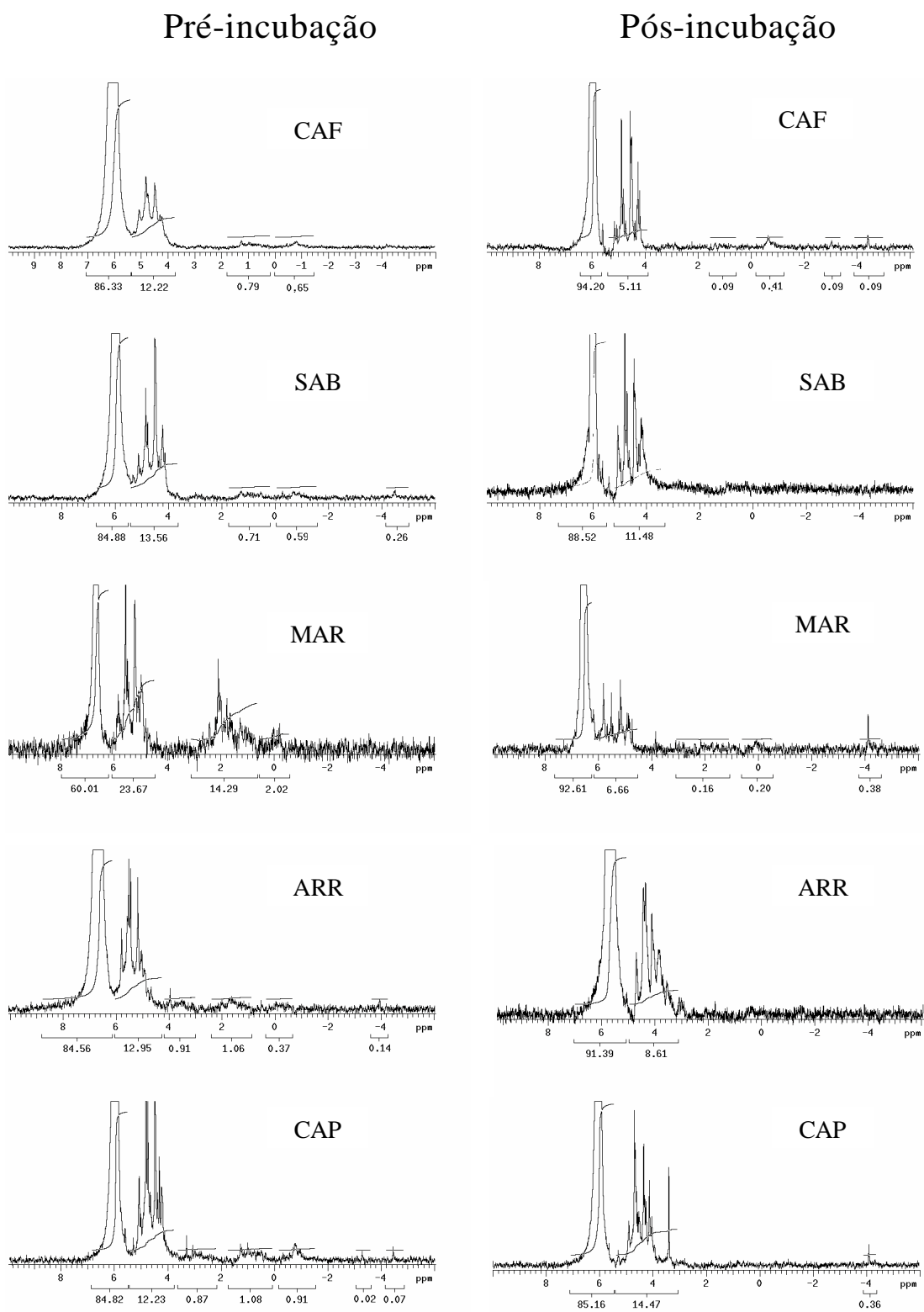


Figura 3 – Espectros de ^{31}P -RMN para compostos fosfatados presentes em cinco tipos de camas de aviário em pré-incubação (0 dia) e pós-incubação (43 dias), extraídos com água por 1 h. CAF: cama de casca de café; SAB: cama de sabugo de milho; MAR: cama de maravalha; ARR: cama de casca de arroz; e CAP: cama de capim-napier.

Contrariamente, na cama de capim-napier a porcentagem do ortofosfato de monoéster aumentou de 12,2 % para 14,5 %. A cama de casca de café foi a que apresentou a maior porcentagem de ortofosfato inorgânico (94,2 %) após os 43 dias de incubação, mas foi a cama de maravalha aquela que teve maior percentual de mineralização dessas formas orgânicas, resultando num aumento de 54 % de ortofosfato inorgânico. Na cama de capim-napier 100 % dos ortofosfatos de diéster foram mineralizados, contudo 0 % do ortofosfato de monoésteres foi decomposto em Pi, que teve um aumento de apenas 0,5 % (Tabela 4) em relação à cama não incubada.

3.3.3. Cinética das transformações do fósforo da cama de maravalha durante a incubação (sem solo)

Nas amostras de cama de maravalha coletadas aos 0, 15, 22, 29, 36 e 43 dias do início da incubação, observou-se que as maiores taxas de mineralização das formas orgânicas de P aconteceram nos primeiros 15 dias, estabilizando-se a partir de 29 dias (Figura 4). Uma outra observação é que a taxa de mineralização dos ortofosfatos de diésteres e monoésteres apresentaram uma dinâmica bastante similar ao longo do tempo (Figura 4). Os teores de pirofosfato mantiveram-se inalterados durante o período de incubação.

Deve-se ressaltar que fosfonatos e polifosfatos não foram detectados nas amostras das camas analisadas.

4. Discussão

Os resultados mostraram que uma grande proporção do P presente nas camas de aviário encontra-se em formas orgânicas e que sua mineralização é relativamente rápida, mas varia de acordo com o tipo de cama de aviário e classe de compostos fosfatados (que depende do tipo de cama). A proporção do Po presente e sua transformação também dependeram do método de avaliação.

Incubação da cama de maravalha - 43 d

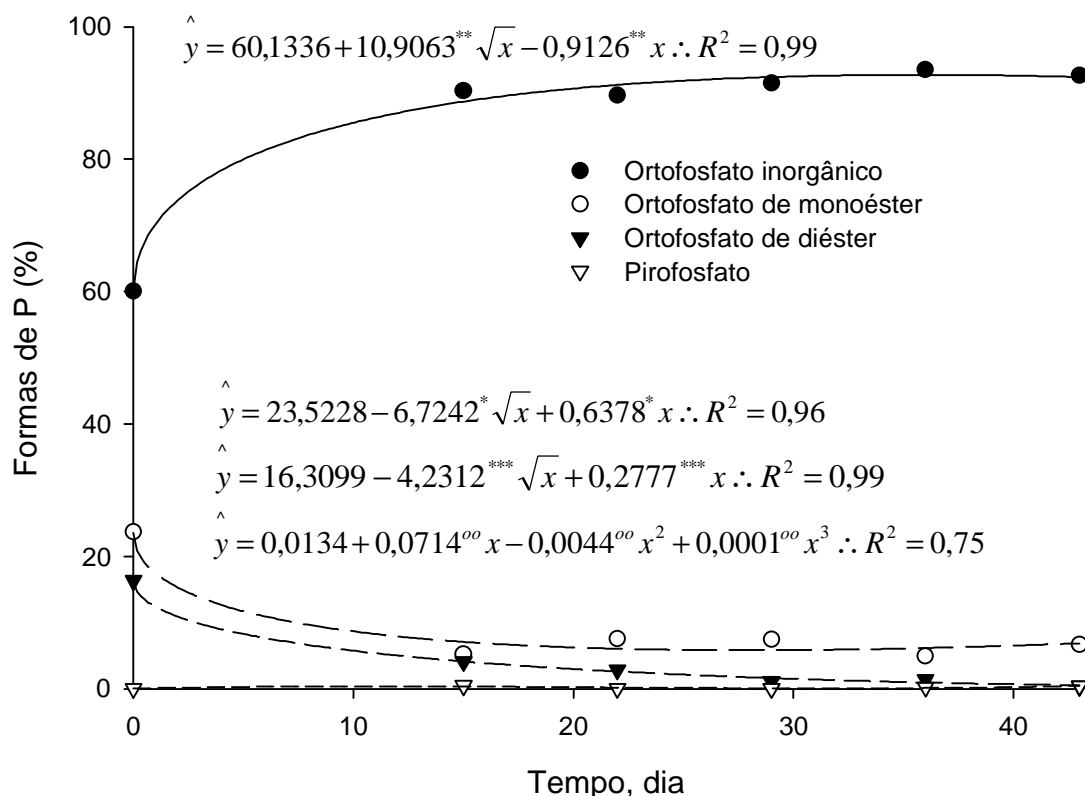


Figura 4 – Distribuição percentual das formas de P e dinâmica das suas transformações na cama de maravalha, de acordo com o tempo de incubação.

4.1. Formas de fósforo e suas transformações avaliadas por meio de fracionamento químico

Quanto à diferença das taxas de mineralização das camas de aviário determinadas por fracionamento químico, observou-se que o comportamento da cama de maravalha não seria esperado, pois esta possui uma estreita relação C/N e C/P (Tabela 1). Isoladamente, essas relações não são suficientes para explicar a baixa taxa de mineralização do Po, pois ela não diferenciou substancialmente daquelas das demais camas (Tabela 4). Outros fatores, como a presença de elevados teores de lignina e compostos fenólicos, presentes na maravalha de madeira, podem estar dificultando a atividade decompositora dos microrganismos (Oglesby & Fownes, 1992; Entry & Backman, 1995; Cortez et al., 1996). Possivelmente, elevados teores de ortófosfato de monoéster como, por exemplo, o ácido fítico, com uma elevada afinidade pelos colóides

do solo (Leythem et al., 2002; Gebrim et al., 2004) estariam reduzindo sua disponibilidade aos microrganismos e reduzindo assim a sua decomposição (Bowman & Cole, 1978; Evans, 1985; Turner et al., 2002b). Isso pode favorecer a permanência de P na forma orgânica por um período maior, podendo ficar essa forma de P mais predisposta a ser transportada e, por conseguinte, atingir os corpos d'água (Eghbal et al., 1996; Chardom et al., 1997). Desta maneira, as camas de casca de café e sabugo de milho poderiam ser utilizadas para fertilizar culturas de ciclo mais curto, com rápida demanda inicial por P. Por outro lado, a cama de maravalha seria mais apropriada a culturas perenes ou plantas com menor demanda inicial por P, para que haja um maior aproveitamento do Po liberado mais lentamente. Mesmo sendo mais estáveis no solo, algumas formas orgânicas de P podem ser adquiridas pelas plantas. Chen et al. (2004) sugeriram que o hexafosfato de inositol, considerado uma das espécies orgânicas de P mais recalcitrantes, pode ser adquirida por plantas de pinus (*Pinus radiata*). Essa habilidade parece depender da espécie vegetal visto que algumas gramíneas e leguminosas forrageiras não aproveitam eficientemente essa forma de P (Hayes et al., 2000b).

Quando da incubação da cama de aviário pura (casca de arroz), o fato de não haver solo e planta para drenar o Pi minimizou sua remoção da solução e, desta maneira, os microrganismos reduziram sua atuação sobre o substrato em razão da abundância de Pi, conforme observado por Bahl & Toor (2002). No entanto, ao contrário do esperado, foi observado que quando a cama de casca de arroz foi incubada com solo com elevada CMAP, a mineralização do Po foi menor em comparação à cama incubada sem solo. Isso parece sugerir que, embora o solo se constitua um forte dreno para o Pi, existe uma proteção coloidal das formas de Po exercida pelos argilominerais (Cross & Schlesinger, 1995; Turrión et al., 2001; Conte et al., 2004), o que leva à preservação preferencial de algumas formas mais estáveis de Po em solos adubados com dejetos de animais ao longo do tempo (Koopmans et al., 2003).

4.2. Formas de fósforo e suas transformações avaliadas por meio de ^{31}P -RMN

O fracionamento do P em formas orgânicas e inorgânicas é bastante informativo, mas para uma melhor compreensão da dinâmica das transformações deste elemento é importante se conhecer as formas de P presentes nas camas de aviário e solo. A maior parte do P encontrava-se na forma inorgânica e o restante em formas orgânicas. Os

ortofosfatos de monoésteres foram os compostos orgânicos que predominaram, sendo seguido pelos ortofosfatos de diéster. A especiação exata do ortofosfato inorgânico não pôde ser obtida por meio de ^{31}P -RMN no estado líquido, e futuros estudos usando ressonância magnética nuclear no estado sólido (CP-MAS ^{31}P -RMN) (McDowel et al., 2002) poderão ampliar o conhecimento atual.

As proporções em que o Pi e Po participaram nas camas de aviário, estimadas por ^{31}P -RMN, foram bastante distintas daquelas obtidas por fracionamento químico tradicional. Uma menor proporção de Po estimada por meio de ^{31}P -RMN em comparação aos métodos de fracionamento químico também foi reportada por Koopmans et al. (2003). Esses autores sugeriram que essa diferença poderia ser devida ao fato de algumas formas orgânicas de P não serem detectadas por ^{31}P -RMN. Visto que a ^{31}P -RMN é uma técnica de alta sensibilidade, uma explicação alternativa para tal discrepância pode ser devida ao fato de o método de fracionamento químico estar sobreestimando as formas orgânicas de P. Formas de Pi que não reagem (complexam) com o molibdato, como é o caso dos pirofosfatos, não são detectadas pelo método colorimétrico (Shand & Smith, 1997) e, dessa maneira, quando da obtenção da fração orgânica por subtração do P total, essa porção de Pi não reativo é incorporada à fração orgânica de P do solo.

A mineralização mais intensa das formas de ortofosfato de diéster pode ser atribuída ao fato de serem constituídos principalmente por fosfolipídios, ácidos nucléicos e açúcares fosfatados (Turner et al., 2002b) e por terem baixa densidade de carga, o que reduz a interação com os colóides do solo, deixando-os acessíveis à degradação microbiana (Turrión et al., 2001). Assim, apesar das formas de ortofosfatos de diésteres estarem em menores teores, eles têm a capacidade de disponibilizar P mais prontamente para as plantas, conforme observado por Hayes et al. (2000b), trabalhando com glicose 1-fosfato, um ortofosfato de diéster, em comparação ao ortofosfato de monoéster, hexafosfato de myo-inositol.

Conforme observaram Abbott & Tucker (1973), a proporção inicial de ortofosfato inorgânico parece ter um papel fundamental nas taxas de decomposição das formas orgânicas de P, pois onde havia inicialmente maiores teores de Pi, foi justamente onde as transformações foram menores.

Com relação à cama de capim, o ortofosfato de monoéster aumentou com o tempo de incubação, possivelmente devido à imobilização de Pi ou transformação de ortofosfato de diésteres em monoésteres pela atividade microbiana (Hinedi et al., 1988).

Porém, este estudo de transformações de formas de P não pode ser analisado isoladamente, sem levar em conta a presença de solo, que poderia modificar toda esta dinâmica. Na verdade, pôde ser observado efeito contrário na mineralização de Po da cama de maravalha quando adicionada ao solo, em que ela foi a cama com menor taxa de transformação de Po em Pi (Tabela 3). Possivelmente, o grande número de sítios ativos dos ortofosfatos de monoéster (ácido fítico, por exemplo) fez com que, na presença de solo, houvesse uma intensa adsorção e, portanto, baixa decomposição com o passar do tempo (Bowman & Cole, 1978; Evans, 1985; Turner et al., 2002b; Koopmans et al., 2003). Analisados juntos, esses dados indicam que com adubações sucessivas com camas de aviário poderá haver acúmulo de formas orgânicas de P no solo, podendo atingir teores que poderão causar danos ao ambiente aquático, pois as formas orgânicas de P são mais móveis no solo (Hedley et al., 1982; Ron Vaz et al., 1993; Eghbal et al., 1996; Chardom et al., 1997), e em determinados solos e tipo de uso (ex.: pastagens com texturas do solo variando de argilo-siltoso a arenoso) pode haver perdas de Po e Pi, com maiores proporções do último (Turner & Haygarth, 2000).

Na comparação dos extratores NaOH-EDTA e água para a cama de maravalha adicionada ao solo, percebeu-se que o primeiro extraiu maiores proporções de formas orgânicas de P que a água, devendo, portanto, ser indicado para o estudo das formas orgânicas de P com caracterização posterior por ^{31}P -RMN, conforme recomendado por Bowman & Moir (1993) e Robinson et al. (1998). O tempo de agitação de 16 h permitiu extrair, proporcionalmente, mais ortofosfatos de monoéster que aquele de 1 h, e deve ser preferido em relação ao último quando o objetivo for estudar estas formas de Po. O mesmo é válido para se extrair P de solos que tenham recebido cama de aviário. A constatação de apenas um pico referente ao Pi no espectro do extrato de NaOH-EDTA do solo muito argiloso deve-se, possivelmente, à interferência de íons paramagnéticos do extrato nos sinais de ressonância do ^{31}P . Cade-Menun & Preston (1996) já haviam observado que o NaOH-EDTA mantém outros íons paramagnéticos em solução, causando bandas largas e picos encobertos, que reduzem a qualidade do espectro. Já para o solo de textura média, foi possível diferenciar os picos de ortofosfato inorgânico e ortofosfato de monoéster. Tal interferência, provavelmente, pode ter sido ao menor teor de Fe neste solo. Uma outra explicação é que tanto as formas inorgânicas e orgânicas de P neste solo estão mais fracamente adsorvidas (Novais & Smyth, 1999), favorecendo sua extração e posterior identificação. Assim, o uso desta técnica é mais

favorável para amostras de solo com maiores teores de P e teores baixos de íons interferentes (ex.: Fe e Mn).

Os extratores alcalinos têm sido amplamente usados para extrair o P do solo para posterior caracterização por técnicas espectroscópicas (Cade-Menun & Preston, 1996; Rubaek et al., 1999; Turner et al., 2003a; Chen et al., 2004), inclusive em solos fertilizados com dejetos de animais (Turner et al., 2003b; Koopman et al., 2003). Embora a água extraia menores teores de P do que o extrator alcalino (Koopman et al., 2003) e que pequenas quantidades de Po disponível para as plantas são extraídas com água (Hayes et al. (2000a), a extração com água é importante para se obter as formas de P que se encontram na solução do solo e que apresentam um maior risco potencial de lixiviação ou escoamento superficial (Sharpley & Moyer, 2000). Esses compostos fosfatados das camadas de aviário solúveis em água correlacionaram-se significativamente com o teor de P liberado durante cinco eventos de chuva simulada (Sharpley & Moyer, 2000).

Utilizando fosfatases para classificar formas de P não-reativo (principalmente Po) em extrato aquoso de cinco solos australianos, Turner et al. (2002a) encontraram pequenos teores de P não-reativo (principalmente orgânico) sendo hidrolisados por fosfomonoesterase (média de 5,6 %), enquanto uma combinação de fosfomonoesterase e fosfodiesterase hidrolisou proporções bem maiores (6-63 %), sugerindo a predominância de ortofosfatos diésteres na solução de solos de pastagem. A fitase hidrolisou grande proporção de P não-reativo em extratos de solo seco (33-49 %), indicando uma quantidade maior de ácido fítico na solução.

Devido ao teor elevado de Ca dessas camadas (Tabela 2), o fosfato inorgânico é provavelmente constituído por Ca-P (McDowel et al., 2002). Esse P solúvel em água é grandemente reduzido após poucos dias de incorporação do dejetos animal ao solo (Griffin et al., 2003). No entanto, mesmo após a incubação com um solo nunca fertilizado e com elevada CMAP ainda foi detectado Pi solúvel em água e este pode ser potencialmente lixiviado (Turner & Haygarth, 2000), porém, poderá vir a ser adsorvido em camadas subsuperficiais do solo. Em solos com teores mais elevados de P devido à fertilização prévia, o P em solução aumenta substancialmente (Griffin et al., 2003), o que pode ser agravado em solos arenosos com longa história de fertilização com esterco, onde ortofosfato inorgânico e ortofosfatos de monoéster são encontrados em extratos de água (Koopmans et al., 2003). Se as doses e a frequência de aplicação desses dejetos animais não forem adequadas, o seu uso em médio e longo prazos poderá oferecer um potencial risco de contaminação devido à mobilização de formas solúveis

de P para corpos d'água, tanto em superfície como em subsuperfície (Leinweber et al., 1997; Turner & Haygarth, 1999; Koopman et al., 2003).

5. Conclusões

Uma porção expressiva do fósforo nas camas de aviário está presente em formas orgânicas: as formas de ortofosfato de monoéster são as formas predominantes, porém, as formas de ortofosfato de diéster também estão presentes e são mineralizadas mais rapidamente.

A taxa de mineralização de Po das camas de aviário é rápida nos primeiros 15 dias, sendo que, quando adicionada ao solo, a cama de casca de café apresenta a maior taxa de mineralização de Po e a cama de maravalha, a menor taxa.

A presença de P solúvel em água em solos adubados com camas de aviário indica que esse nutriente pode ser perdido para ambientes aquáticos a médio e longo prazo.

6. Literatura Citada

- ABBOTT, J.L. & TUCKER, T. Persistence of manure P availability in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:60-63, 1973.
- BAHL, G.S. & TOOR, G.S. Influence of poultry manure on phosphorus availability and the standard phosphate requirement of crop estimated from quantity-intensity relationship in different soils. *Bior. Techn.*, 85:317-322, 2002.
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Sci.*, 125:49-54, 1978.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:362-366, 1989.
- BOWMAN, R.A. & MOIR, J.O. Basic EDTA as an extractant for soil organic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1516-1518, 1993.
- CADE-MENUN, B.J. & PRESTON, C.M. A comparison of soil extraction procedures for ³¹P NMR spectroscopy. *Soil Sci.*, 161:770-785, 1996.
- CADE-MENUN, B.J.; LIU, C.W.; NUNLIST, R. & McCOLL, J.G. Soil and litter phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy: extractants, metals, and phosphorus relaxation times. *J. Environ. Qual.*, 31:457-465, 2002.

- CASSOL, P.C.; GIANELLO, C. & COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:635-644, 2001.
- CHARDOM, W.J; OENEMA, O.; DEL CASTILHO, P.; URIESEMA, R.; JAPENGA, J. & BLAAUW, D. Organic phosphorus in solution and leachates from soils treated with animal slurries. *J. Environ. Qual.*, 26:372-378, 1997.
- CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; TURNER, B.L.; MAHIEU, N.; DAVIS, M.R.; XU, Z.H. & SHERLOCK, R.R. Mineralisation of soil orthophosphate monoesters under pine seedlings and ryegrass. *Austral. J. Soil Res.*, 42:189-196, 2004.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:893-900, 2003.
- CORTEZ, J.; DEMARD, J.M.; BOTTNER, P. & MONROZIER, L.J. Decomposition of Mediterranean leaf litters: a microcosm experiment investigating relationships between decomposition rates and litter quality. *Soil Biol. Biochem.*, 28:443-452, 1996.
- CROSS, A.F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64:197-214, 1995.
- DALAL, R.C. Soil organic phosphorus. *Adv. Agron.*, 29:83-117, 1977.
- DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N. & LEMUNYON, J.L. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. *J. Environ. Qual.*, 27:251-257, 1998.
- EGHBALL, B.; BENFORD, G.D. & BALTENSBERGER, D.D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. *J. Environ. Qual.*, 25:1339-1343, 1996.
- ENTRY, J.A & BACKMAN, C.B. Influence of carbon and nitrogen on cellulose and lignin degradation in forest soils. *Canad. J. For. Res.*, 19:723-734, 1982.
- EVANS, A.J. The adsorption of inorganic phosphate by a sand soil as influenced by dissolved organic compounds. *Soil Sci.*, 140:251-255, 1985.
- GEBRIM, F.O.; SILVA, I.R.; JESUS, G.L. & NOVAIS, R.F. Adsorção competitiva de ortofosfato e hexafosfato de inositol em Latossolos sob influência da calagem. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 2004. Anais. Lages, FERTBIO, 2004. CD-ROM
- GRIFFIN, T.S.; HONEYCUTT, C.W. & HE, Z. Changes in soil phosphorus from manure application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:645-653, 2003.
- HAYES, J.E.; RICHARDSON, A.E. & SIMPSON, R.J. Components of organic phosphorus in soil extracts that are hydrolysed by phytase and acid phosphatase. *Biol. Fertil. Soils*, 32:279-286, 2000a.

- HAYES, J.E.; SIMPSON, R.J. & RICHARDSON, A.E. The growth and phosphorus utilization of plants in sterile media when supplied with inositol hexaphosphate, glucose 1-phosphate or inorganic phosphate. *Plant Soil*, 220:165-174, 2000b.
- HANSEN, J.C.; CADE-MENUM, B.J. & STRAW, D.G. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. *J. Environ. Qual.*, 33:1177-1182, 2004.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- HINEDI, Z.R.; CHANG, A.C. & LEE, R.W.K. Mineralization of phosphorus in sludge amended soils monitored by phosphorus 31-nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1593-1596, 1988.
- KOOPMANS, G.F.; CHARDON, W.J.; DOLFING, J.; OENEMA, O.; VAN DER MEER, P. & RIEMSDYK, W.H. Weet chemical and phosphorus-31 nuclear magnetic resonance analysis of phosphorus speciation in a sandy soil receiving long-term fertilizer or animal manure applications. *J. Environ. Qual.*, 32:287-295, 2003.
- LEINWEBER, P.; HAURNAIER, L. & ZECH, W. Sequential extractions and ³¹P-NMR spectroscopy of phosphorus forms in animal manures, whole soils and particle size separates from a densely populated livestock area in northwest Germany. *Biol. Fertil. Soils*, 25:89-94, 1997.
- LEYTEM, A.B.; MIKKELSEN, R.L. & GILLIAM, J.W. Sorption of organic phosphorus compounds in Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Sci.*, 167:652-658, 2002.
- McDOWELL, R.W.; CONDRON, L.M.; MAHIEU, N.; BROOKES, P.C.; POULTRON, P.R. & SHARPLEY, A.N. Analysis of potentially mobile phosphorus in arable soils using solid-state nuclear magnetic resonance. *J. Environ. Qual.*, 31:450-456, 2002.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36, 1962.
- NEWMAN, R.H. & TATE, K.B. Soil phosphorus characterisation by ³¹P nuclear magnetic resonance. *Com. Soil Sci. Plant Anal.*, 11:835-842, 1980.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- OGLESBY, K.A. & FOWNES, J.A. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant Soil*, 143:127-132, 1992.
- PEPERZAK, P.; CALDWELL, A.G.; HUNZIKER, R.R. & BLACK, C.A. Phosphorus fractions in manures. *Soil Sci.*, 87:293-302, 1959.

- RICHARDSON, A.E.; HADOBAS, P.A. & HAYES, J.E. Acid phosphomonoesterase and phytase activities of wheat (*Triticum aestivum* L.) roots and utilization of organic phosphorus substrates by seedlings grown in sterile culture. *Plant Cell. Environ.*, 23:397-405, 2000.
- RICHARDSON, A.E.; HADOBAS, P.A.; HAYES, J.E.; O'HARA, C.P. & SIMPSON, R.J. Utilization of phosphorus by pasture plants supplied with myo-inositol hexaphosphato is enhanced by the presence of soil microorganisms. *Plant Soil*, 229:47-56, 2001.
- ROBINSON, J.S.; JOHNSTON, C.T. & REDDY, K.R. Combined chemical and ³¹P-NMR spectroscopic analysis of phosphorus in wetland organic soils. *Soil Sci.*, 163:705-713, 1998.
- RON VAZ, M.D.; EDWARDS, A.C.; SHAND, C.A. & CRESSER, M.S. Phosphorus fractions in soil solution: influence of soil acidity and fertilizer additions. *Plant Soil*, 148:175-183, 1993.
- RUBAEK, G.H.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. & CHRISTENSEN, B.T. Organic phosphorus in soil size separates characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance and resin extraction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1123-1132, 1999.
- SHAND, C.A. & SMITH, S. Enzymatic release of phosphate from model substrates and P compound in soil solution from a peaty Podzol. *Biol. Fert. Soils*, 24:183-187, 1997.
- SHARPLEY, A.N. & MOYER, B. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. Environ. Qual.*, 29:1462-1469, 2000.
- SHARPLEY, A.N. & SMITH, S.J. Mineralization and leaching of phosphorus from soil incubated with surface-applied and incorporated crop residue. *J. Environ. Qual.*, 18:101-105, 1989.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons Inc. 1994. 496p.
- TURNER, B.L. & HAYGARTH, P. M. Phosphorus forms and concentrations in leachate under four grassland soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1090-1099, 2000.
- TURNER, B.L. & McKELVIE, I.D. A novel technique for the pre-concentration and extraction of inositol hexakisphosphate from soils extracts with determination by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. *J. Environ. Qual.*, 31: 466-470, 2002.
- TURNER, B.L.; McKELVIE, I.D. & HAYGARTH, P.M. Characterisation of water-extractable soil organic phosphorus by phosphatase hydrolysis. *Soil Biol. Biochem.*, 34:27-35, 2002a.
- TURNER, B.L.; PAPHÁZY, M.J.; HAYGARTH, P.M. & McKELVIE, I.D. Inositol phosphates in the environment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 357:449-469, 2002b.

- TURNER, B.L.; MAHIEU, N. & CONDRON, L.M. Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectral assignments of phosphorus compounds in soils NaOH-EDTA extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 497-510, 2003.
- TURRIÓN, M.-B.; GALLARDO, J.F.; HAUMAIER, L.; GONZALEZ, M.-I. & ZECH, W. ³¹P-NMR characterization of phosphorus fractions in natural and fertilized forest soils. *Ann. For. Sci.*, 58:89-98, 2001.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1998.

FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS ADUBADOS COM CAMAS DE AVIÁRIO

Resumo: O uso de camas de aviário como fertilizante tem aumentado substancialmente nos últimos anos, mas estudos sobre as transformações do P desses materiais em solos altamente intemperizados ainda são limitados. O presente estudo teve como objetivos determinar as transformações de P em solos fertilizados com cama de aviário. Foram usados, além de um tratamento testemunha (ausência de aplicação de cama), cinco tipos de cama de aviário (casca de café, sabugo de milho, maravalha, casca de arroz e capim-napier) em amostras de dois solos (um muito argiloso e o outro de textura média) na dose correspondente a 80 t ha⁻¹. Decorridos 15 dias de incubação dos solos com as camas de aviário foram feitos três plantios sucessivos de milho. Para avaliar a dinâmica das transformações das formas de P no solo, em função do tempo, foram coletadas amostras de solo, de cada vaso, nos tempos 0 (pré-incubação), 15 (pós-incubação) e 90 dias (pós-terceiro cultivo), fracionando-se o P pelo método de Hedley modificado. Os resultados obtidos mostraram que o P extraído por hidróxido, seguido do P residual, foram os grandes drenos do P aplicado por meio das camas de aviário. O P inorgânico (Pi) predominou sobre o orgânico (Po) em todas as frações analisadas. As maiores transformações do P nas diversas frações ocorreram durante o período de incubação (0 a 15 dias), sendo que no solo muito argiloso as formas de P de baixa disponibilidade (extraídas por hidróxido e residual) predominaram. No solo de textura média, as formas mais lábeis de P (extraídas por resina e por bicarbonato) e as formas extraídas por água encontraram-se em maiores teores. O solo de textura média, comparativamente ao muito argiloso, esteve mais sujeito à perda de P solúvel em água quando fertilizado com camas de aviário.

Palavras-chave: Hedley; adubação orgânica; fracionamento químico.

PHOSPHORUS FRACTIONS IN OXISOLS FERTILIZED WITH POULTRY LITTERS

Abstract: The use of poultry litter as a fertilizer has increased substantially in the last years, but studies on the transformation and availability of phosphorus (P) from these material in highly weathered soils are still limited. The present study aimed at determining the transformations of P in soils fertilized with poultry litter. Five treatments, besides a control (no application of poultry litter), consisting of five types of poultry litter: coffee berry skin, wood chip, ground corn cob, rice husk, and ground dry grass were applied in samples of two Oxisols (a clayey and a sandy-loam) at a rate corresponding to 80 t ha⁻¹. After 15 days of incubation of the soils with the poultry litters, corn plants were cultivated three consecutive times. In order to evaluate the dynamics of the transformations of P forms in the soil along the time, soil samples were collected from each pot at time 0 (pre-incubation), 15 days later (pos-incubation) and 75 days later (post-third cultivation) and soil P was submitted to wet chemical fractionation (Hedley's modified). The obtained results show that hydroxide-P, followed by residual-P were large sinks for the P applied via poultry litter. Inorganic P (Pi) dominated over organic P (Po) in all fractions analysed. The greater transformations of P in the several fractions occurred during the incubation period (0 to 15 days). In the clayey soil the low availability P fractions (hydroxide and residual-P) were predominant, but in the sandy-loam the more labile P fractions (resin and bicarbonate-P) and water-extractable – P were present at higher concentration. The sandy-loam soil, compared to the clayey one, is more prone to water-soluble-P losses when fertilized with poultry litter.

Key words: Hedley; organic fertilization; chemical fractionation.

1. Introdução

O uso de camas de aviário como fertilizante tem aumentado substancialmente nos últimos anos, mas estudos sobre as transformações e a disponibilidade do P desses materiais em solos altamente intemperizados ainda são limitados.

Cross & Schlesinger (1995), em uma ampla revisão de literatura referente ao método de fracionamento proposto por Hedley et al. (1982), observaram que o P inorgânico (Pi) extraído por resina e bicarbonato e o P orgânico (Po) extraído por bicarbonato têm sido considerados como formas prontamente disponíveis para as plantas. Ainda segundo Cross & Schlesinger (1995), as formas orgânicas e inorgânicas de P, extraídas por NaOH, estariam associadas aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e seriam de moderada a baixa labilidade. Já o Pi extraído por HCl, também seria de baixa labilidade, porém estaria associado ao Ca. Esses resultados confirmam as definições utilizadas por Hedley et al. (1982) e Tiessen & Moir (1993).

Estudando a dinâmica de formas de P em solos tropicais em diferentes tempos de incubação e doses de fertilizante fosfatado, Lopes (1992) verificou que, com o tempo, houve acréscimos sistemáticos das frações P-H₂O, P-Al e P-Fe e, em menor escala, de P-Ca e que os maiores teores de Po foram encontrados nos solos que possuíam os maiores valores de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), fato também relatado por Cross & Schlesinger (1995).

Com relação à disponibilidade de diferentes formas de P em dejetos de animais, Cassol et al. (2001) observaram correlação positiva do índice de eficiência (IE), estimado pelo equivalente em superfosfato triplo, com as proporções de P lábil extraído por resina trocadora de ânions, NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ pH 8,5, e Pi total, e correlação negativa com as proporções de P extraído por NaOH 0,1 mol L⁻¹, HCl 1 mol L⁻¹ e de Po total. Adicionalmente, constatou-se que as formas de P lábil extraídas por resina e por bicarbonato constituíram 57 % do Pi total dos dejetos de frango, enquanto nos de bovinos a proporção destas formas foi de 92 % do Pi total.

Robinson & Sharpley (1995) verificaram baixos teores de P mineralizável (2,3 e 2,6 %) em dois tipos de cama de aviário, indicando grande estabilidade das formas de Po, e que a liberação de P destas camas é quase que exclusivamente de fontes inorgânicas. Esses autores verificaram que os teores de P extraídos foram compatíveis com a demanda da cultura de trigo e com parte da demanda de grama-bermuda.

Com a rápida liberação de P_i , ele pode não ser aproveitado pelas plantas, ficando disponível para lixiviação e escoamento superficial. Assim, Sharpley (1995) e McDowell & Sharpley (2001) alertaram para a necessidade de se identificar teores de P no solo que excedam o requerimento das culturas, pois seu acúmulo passa a constituir um risco potencial de poluição das águas. Da mesma forma, Robinson & Sharpley (1995) observaram que quando a cama de frango é aplicada ao solo, com base no requerimento de P das culturas, a estabilidade do P_o auxilia no fornecimento de quantidades mais próximas do ideal, otimizando a efetividade agrônômica e diminuindo o risco de contaminação ambiental. Os autores verificaram que 40 % do P foi liberado pela primeira chuva, num evento de cinco precipitações pluviais. Assim, esses autores ressaltaram que para maior aproveitamento de P pelas culturas é importante aplicar camas de aviário o mais próximo possível do plantio, evitando períodos de intensa precipitação pluvial.

Sharpley & Moyer (2000), estudando lixiviados de esterco e de compostos orgânicos na ausência de solo, verificaram que estes apresentaram estreita relação com a concentração de P_i extraído por água dos materiais. Isto sugere que este método de extração pode ser usado em solos para estimar a liberação do P de esterco e compostos e avaliar o potencial de enriquecimento em P do lixiviado e água de escoamento superficial. Contudo, a presença de solo afeta a adsorção do P liberado destes materiais, influenciando as quantidades de P que podem contaminar as águas (Stout et al., 2003).

Partindo do pressuposto de que o tipo de cama de aviário interfere no comportamento e nos teores de P do solo, objetivou-se, com este trabalho, avaliar as transformações das diferentes formas de P ao longo do tempo, em dois Latossolos de texturas distintas, adubados com camas de aviário, por meio de fracionamento químico.

4. Material e Métodos

Utilizaram-se amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média. As amostras desses solos foram retiradas na profundidade de 20 a 40 cm para minimizar a interferência dos maiores teores de matéria orgânica na camada superficial, secados ao ar e passados por peneira com malha de 4 mm. Deste material foram retiradas subamostras, que foram passadas em peneira de malha de 2 mm, e submetidas às análises para caracterização química e física (Quadro 1, pág. 8). As cinco camas de aviário utilizadas foram: de

casca de café, sabugo de milho, maravalha, casca de arroz e capim-napier. Estas foram secadas ao ar e passadas em triturador de forragem antes de serem utilizadas.

As camas de aviário, após secagem em estufa a 70 °C, foram passadas em moinho com peneira de 0,5 mm e submetidas à digestão nítrico-perclórica (Sarruge & Haag, 1974). O P foi analisado por espectrofotometria de absorção molecular (Braga & Defelipo, 1974); C orgânico pelo método de Yeomans & Bremner (1988); e N total por combustão a seco em analisador elementar (CHNS/O, 2400 Série II, Perkin Elmer) (Quadro 1, pág. 28).

As cinco camas de aviário foram misturadas com 1,5 dm³ dos solos, na dose correspondente a 80 t ha⁻¹, em vasos de 2 dm³, e então, incubados durante 15 dias, mantendo-se a umidade em 80 % da capacidade de campo, em casa de vegetação. Um tratamento adicional sem a aplicação de cama de aviário foi incluído neste experimento.

Transcorridos 15 dias foram colocadas para germinar cinco sementes de milho em cada vaso, deixando três plantas uma semana após a emergência. Visando avaliar o efeito residual da adubação com as camas de aviário, foram efetuados mais dois cultivos, totalizando três cultivos sucessivos de milho (25 dias cada).

Para avaliar a dinâmica das transformações das formas de P no solo em função do tempo, foram coletadas amostras do solo de cada vaso nos tempos 0 (pré-incubação), 15 (pós-incubação) e 90 dias, após a colheita do terceiro cultivo (pós-3^o cultivo) para o fracionamento de P pelo método de Hedley et al. (1982), modificado. A marcha analítica adotada foi a seguinte: antes do fracionamento, determinaram-se os teores de P_o e P_i solúveis em água. Para tal, foram utilizados 2,5 cm³ de TFSA em tubos de centrífuga com tampa, que receberam 30 mL de água destilada e foram submetidos à agitação por 16 h em agitador horizontal. As amostras foram então centrifugadas a 509 g, por 10 min, retirando-se o sobrenadante para determinação de P_i e P total, segundo Murphy & Riley (1962). Após esta determinação, foram utilizados 2,5 cm³ de TFSA, colocados em tubos de centrífuga com tampa, adicionados 30 mL de água destilada e uma membrana de resina trocadora de ânion com 7,5 cm², tipo base forte 204U2ARA (Ionics Inc., EUA), saturada com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ pH 8,5, seguindo-se agitação por 16 h em agitador horizontal. Em seguida, as lâminas de resina foram separadas, lavadas com jatos de água destilada e colocadas em frasco de 100 mL, contendo 50 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹, ficando em repouso por 1,5 h e depois agitadas por 30 min em agitador horizontal. A resina foi então retirada e o extrato reservado para análise do P dessorvido. Os tubos de centrífuga, após a retirada da resina trocadora de

ânion, foram novamente centrifugados a 509 g, descartando-se o sobrenadante. Aos tubos com o resíduo de solo foram adicionados 30 mL de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ pH 8,5, e estes foram então agitados por 16 h em agitador horizontal e centrifugados a 509 g, por 10 min. O sobrenadante foi retirado e reservado para análise. Os resíduos foram dispersos em 30 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹ e centrifugados novamente. Os sobrenadantes foram adicionados aos obtidos na etapa anterior.

Duas novas extrações foram realizadas com os resíduos da etapa anterior utilizando-se, seqüencialmente, NaOH 0,5 mol L⁻¹ e HCl 1 mol L⁻¹, com procedimentos semelhantes ao do NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, obtendo-se mais dois sobrenadantes para análise. Finalmente, o resíduo foi secado em estufa a 70 °C e triturado em almofariz. Deste material, tomou-se 0,50 g para digestão nítrico-perclórica (10 mL de solução 4:1 HNO₃ e HClO₄ concentrados) em chapa quente, à temperatura de 200 °C. Após digestão, completou-se o volume em balão de 100 mL e procedeu-se a determinação de P. Nos extratos obtidos das extrações por resina até aquela com HCl 1 mol L⁻¹ foram determinados Pi diretamente, e P total após digestão nítrico-perclórica (3:1) do extrato, seguindo o método de Murphy & Riley (1962), após correção do pH dos extratos para 5,5 utilizando indicador *p*-nitrofenol. Por diferença entre o P total e o Pi obteve-se o Po. Na digestão dos extratos utilizou-se uma gota de solução saturada de cloreto de magnésio para evitar volatilização de formas orgânicas de P (Brookes & Powlson, 1981).

O experimento consistiu de um fatorial 2 x 6 (dois solos, cinco camas de aviário na dose correspondente a 80 t ha⁻¹ e a testemunha). O delineamento experimental foi por “Culturas Perenes” (Vessereau, 1960).

Os dados foram submetidos às análises de variância, regressão e comparação de médias pelo teste de Tukey.

3. Resultados

3.1. Cinética das transformações das frações de fósforo

Observou-se que a fração de Pi, extraída por água, para todas as camas e solos, diminuiu durante a fase de incubação (15 primeiros dias) (Figuras 1 a 5), exceto para as camas de sabugo de milho e maravalha, para o solo muito argiloso, em que não houve diferença dos teores com o tempo. Em relação aos teores de Po extraído por água,

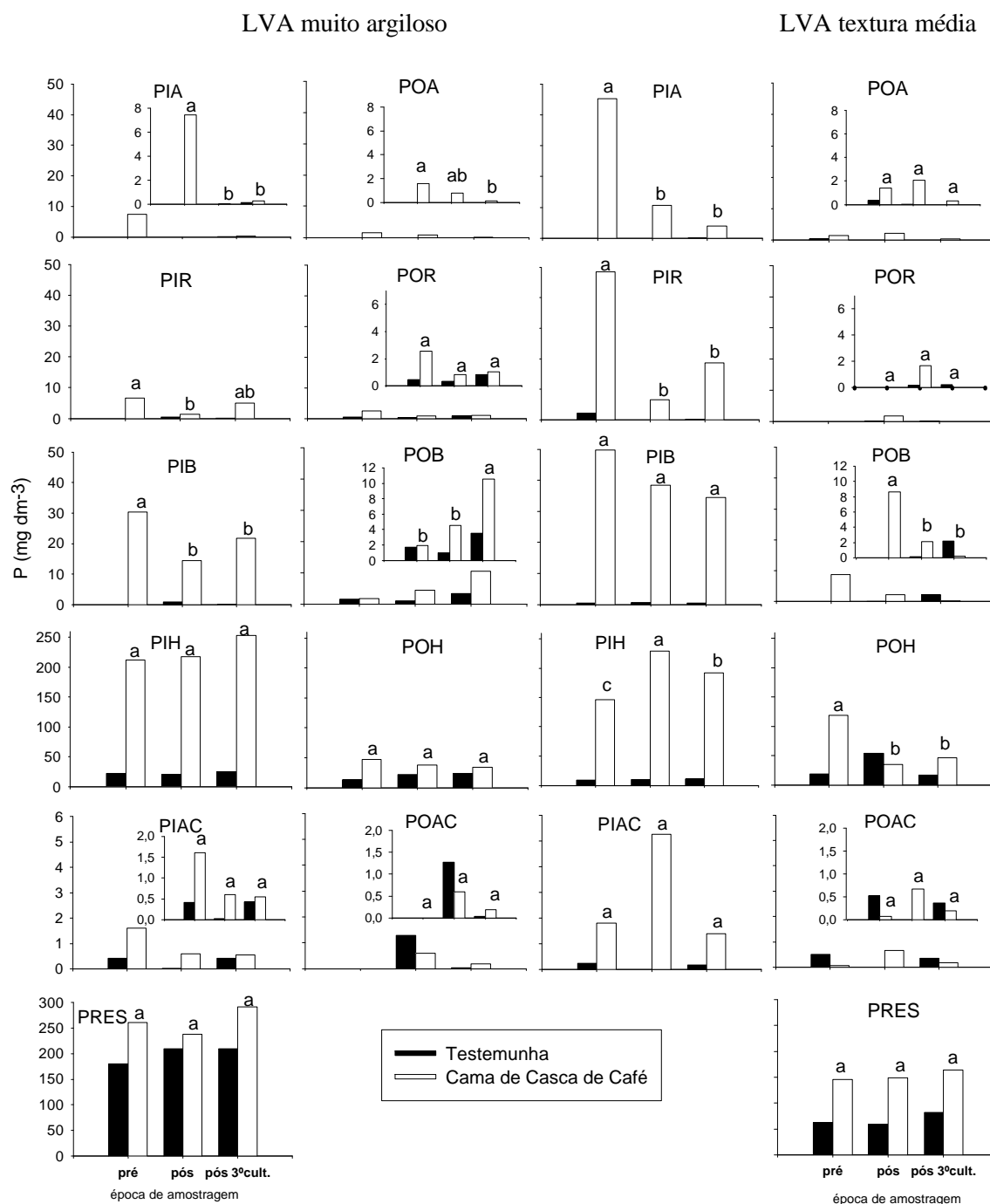


Figura 1 – Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de casca de café (dose correspondente a 80 t ha⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho.

PIA: P inorgânico extraído por água; POA: P orgânico extraído por água; PIR: P inorgânico extraído por resina; POR: P orgânico extraído por resina; PIB: P inorgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; POB: P orgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; PIH: P inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; POH: P orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; PIAC: P inorgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; POAC: P orgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; e PRES: P residual.

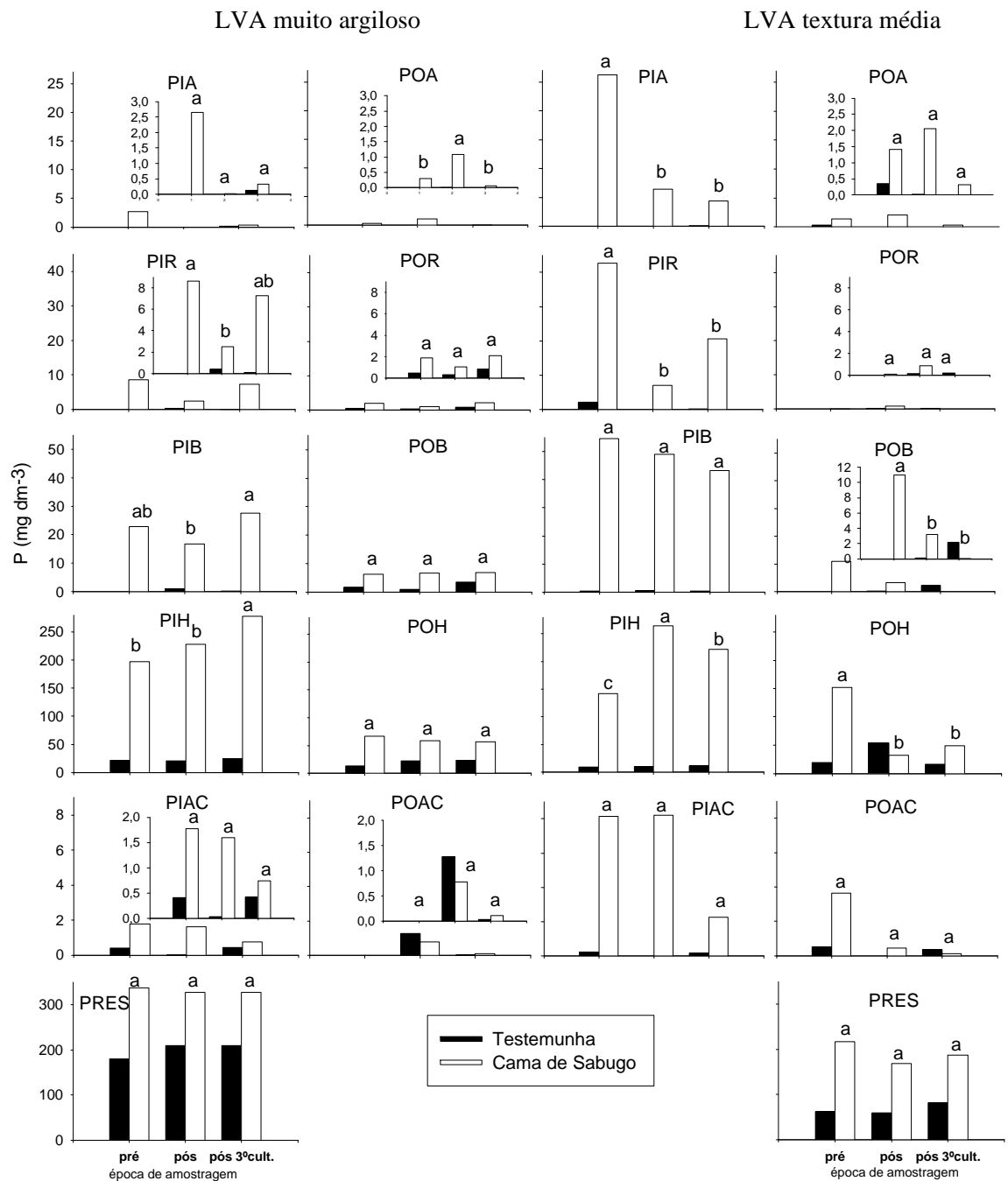


Figura 2 – Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de sabugo de milho (dose de 80 t ha⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho.

PIA: P inorgânico extraído por água; POA: P orgânico extraído por água; PIR: P inorgânico extraído por resina; POR: P orgânico extraído por resina; PIB: P inorgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; POB: P orgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5. PIH: P inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; POH: P orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; PIAC: P inorgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; POAC: P orgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; PRES: P residual.

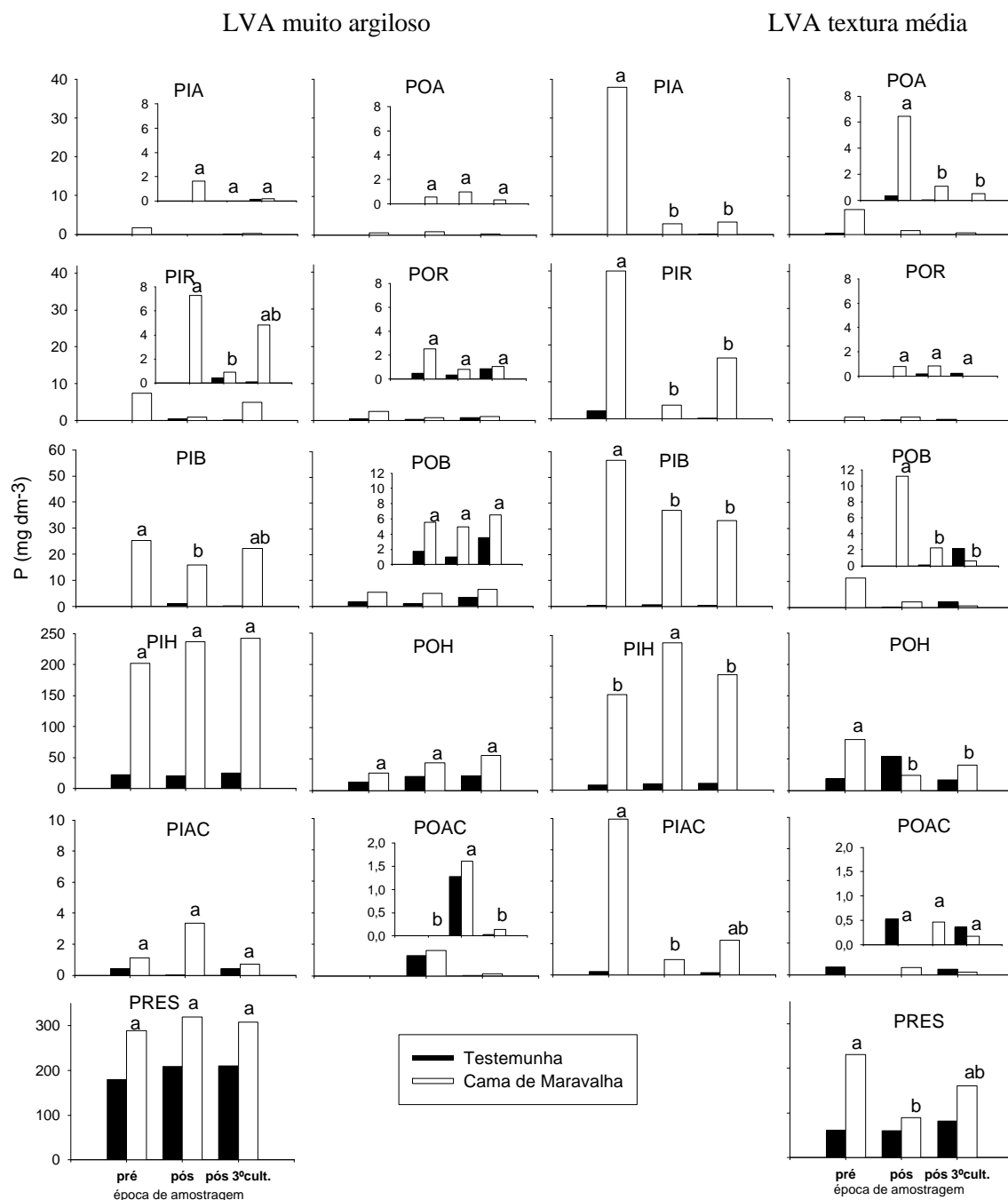


Figura 3 – Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de maravalha (dose de 80 t ha⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho.

PIA: P inorgânico extraído por água; POA: P orgânico extraído por água; PIR: P inorgânico extraído por resina; POR: P orgânico extraído por resina; PIB: P inorgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; POB: P orgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; PIH: P inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; POH: P orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; PIAC: P inorgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; POAC: P orgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; e PRES: P residual.

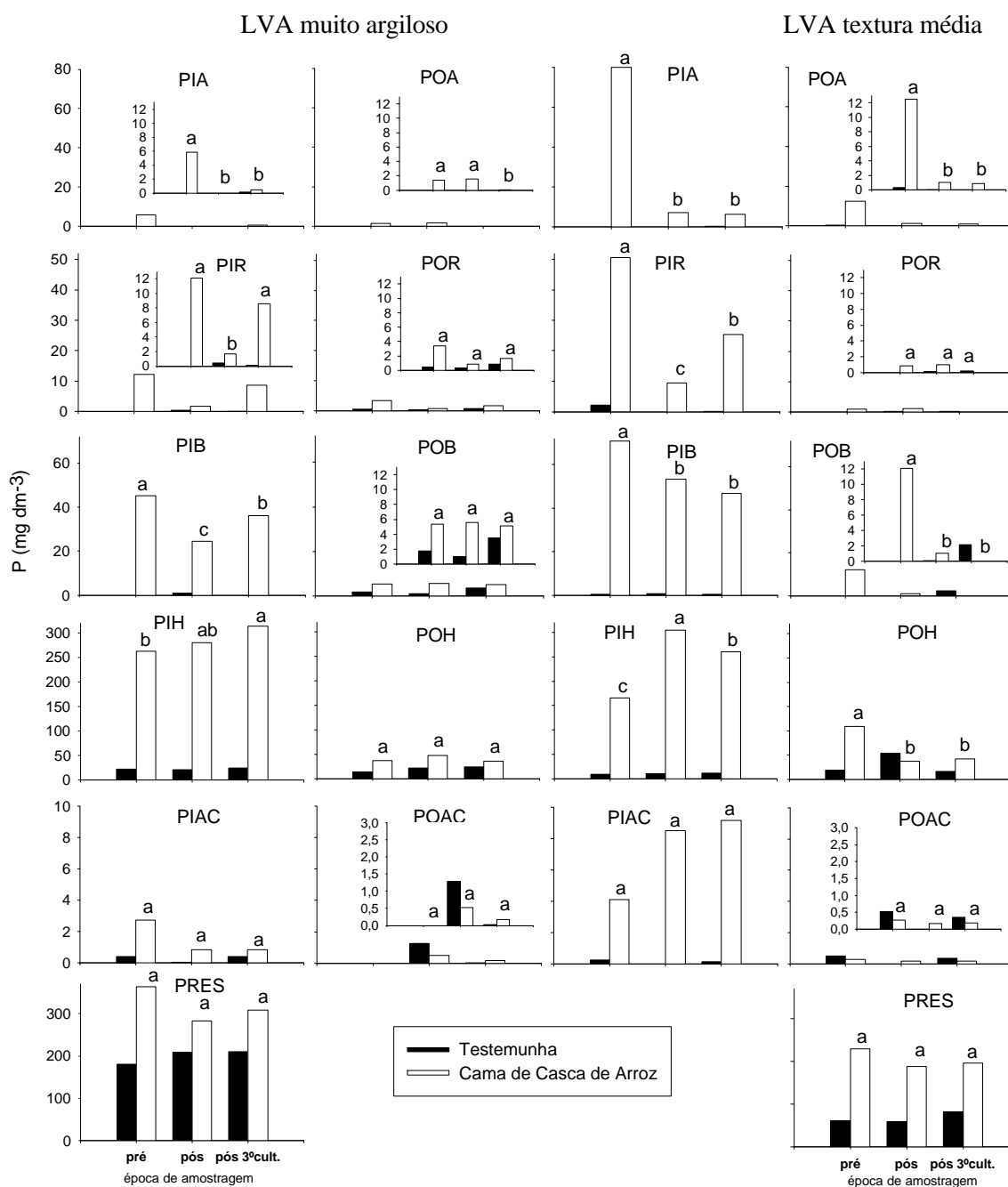


Figura 4 – Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de casca de arroz (dose de 80 t ha⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho.

PIA: P inorgânico extraído por água; POA: P orgânico extraído por água; PIR: P inorgânico extraído por resina; POR: P orgânico extraído por resina; PIB: P inorgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; POB: P orgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; PIH: P inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; POH: P orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; PIAC: P inorgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; POAC: P orgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; e PRES: P residual.

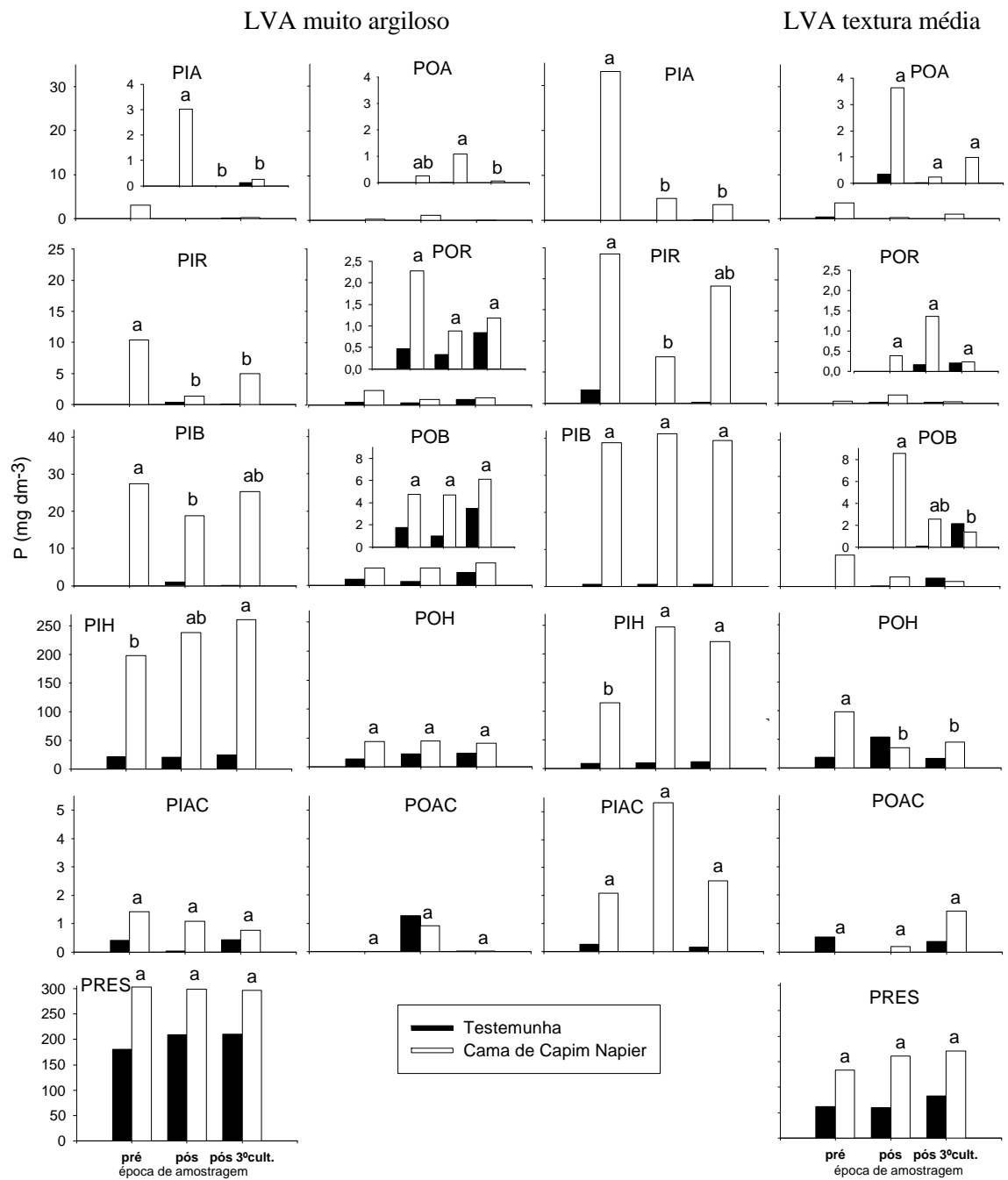


Figura 5 – Frações de P orgânico e inorgânico em amostras de dois Latossolos adubados com cama de capim napier (dose de 80 t ha⁻¹) e a testemunha em pré-incubação, pós-incubação e após três cultivos sucessivos de milho.

PIA: P inorgânico extraído por água; POA: P orgânico extraído por água; PIR: P inorgânico extraído por resina; POR: P orgânico extraído por resina; PIB: P inorgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; POB: P orgânico extraído por bicarbonato de sódio pH 8,5; PIH: P inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; POH: P orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹; PIAC: P inorgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; POAC: P orgânico extraído por ácido clorídrico 1 mol L⁻¹; e PRES: P residual.

observou-se que no solo argiloso eles aumentaram na fase de incubação com posterior diminuição após o período de cultivo para os tratamentos com as camas de sabugo de milho e capim. Houve também redução dessa fração para as camas de casca de café e casca de arroz, mas não houve alteração dos teores com o tempo no solo tratado com cama de maravalha (Figuras 1 a 5). Já no solo de textura média, observou-se redução nos teores de Po naqueles adubados com camas de maravalha e casca de arroz na incubação, com posterior estabilização nos teores (Figuras 3 e 4). Todavia, para as camas de casca de café, sabugo de milho e capim-*napier*, o Po extraído por água permaneceu constante (Figuras 1, 2 e 5).

No que diz respeito aos teores de Pi extraído por resina verificou-se uma diminuição acentuada durante a incubação pré-plantio com pequena elevação após este período para os dois solos (Figuras 1 a 5). Os teores de Po extraídos por resina mantiveram-se constantes com o tempo, para os dois solos (Figuras 1 a 5).

Para o Pi extraído por bicarbonato, observou-se diminuição dos teores no período de incubação e posterior aumento no período de cultivo no solo argiloso (Figuras 1 a 5), enquanto no de textura média houve diminuição dos teores durante a incubação (0 a 15 dias) para as camas de maravalha e casca de arroz, com estabilidade dos teores no período dos cultivos (Figuras 3 e 4). Para as demais camas, não houve diferença significativa dos teores com o tempo (Figuras 1, 2 e 5). Também para o Po extraído por bicarbonato, no solo de textura média, houve diminuição dos teores no período de incubação para todas as camas, permanecendo constantes no período dos cultivos (Figuras 1 a 5). Quanto ao solo muito argiloso, apenas o Po da cama de casca de café teve seus teores aumentados com o tempo no período dos cultivos, e as demais camas permaneceram com seus teores constantes (Figuras 1 a 5).

De modo geral, contrariamente ao que acontece com as formas mais lábeis de P, as formas de Pi extraídas por hidróxido no solo muito argiloso aumentaram com o tempo de incubação de maneira linear para as camas de casca de arroz, mas no solo tratado com cama de capim-*napier* e sabugo de milho também houve aumento no período de cultivo. No solo de textura média, houve aumento de maneira quadrática do Pi extraído com hidróxido, ou seja, aumento na fase de incubação e posterior decréscimo no período de cultivos, para todas as camas (Figuras 1 a 5).

Em relação às formas de Po extraídas por hidróxido, não se observou alteração com o tempo no solo muito argiloso (Figuras 1 a 5), ao passo que no solo de textura média esta mesma fração orgânica de P diminuiu até os 15 dias de incubação e

permaneceu estável mesmo após os cultivos (Figuras 1 a 5).

Para o P extraído por ácido clorídrico, verificou-se que o Pi no solo muito argiloso não teve alterações em seus teores com o tempo (Figuras 1 a 5). No solo de textura média, esta fração reduziu no tratamento com cama de maravalha durante a incubação e voltou a aumentar no período dos cultivos (Figuras 1 a 5). Para as formas orgânicas de P extraído por ácido constatou-se que, de modo geral, não houve modificação nos teores com o tempo de incubação no solo muito argiloso, com exceção daquela proveniente da cama de maravalha, que aumentou durante a incubação e reduziu em relação ao teor após os cultivos (Figuras 1 a 5). Para as formas do Po extraído por ácido no solo de textura média, não houve modificações significativas nos teores com o tempo de incubação para todas as camas (Figuras 1 a 5).

O P residual permaneceu constante com o tempo de incubação em ambos os solos, com exceção do P residual no solo textura média que recebeu cama de maravalha, que diminuiu durante a incubação e aumentou após os cultivos (Figuras 1 a 5).

3.2. Frações de fósforo de solos adubados com camas de aviário

Dentre as frações de P no solo, a contribuição para o P total foi maior naquelas de menor labilidade (extraídas por hidróxido e o P residual), enquanto as formas inorgânicas de P predominavam sobre as formas orgânicas em todas as frações. Do P total, em média, aquelas extraídas por água encontravam-se em torno de 1,9 %, 2,5 % por resina, 6,7 % por bicarbonato, e em maiores teores, 46,8 %, as extraídas por NaOH. Verificou-se que os menores teores foram os obtidos pela extração por ácido clorídrico (0,6 %). O teor de P residual também foi elevado (43,4 %) (Quadro 1).

Nos solos que receberam aplicação de camas de aviário, verificou-se que as frações de P extraídas por água, resina, bicarbonato e ácido se encontravam em maiores teores no solo de textura média, enquanto, no solo mais argiloso foram encontrados maiores teores das formas de P extraídas por hidróxido e P residual (Quadro 1).

Comparando os teores de P no solo, advindos das camas de aviário, observou-se que a cama de casca de arroz propiciou os maiores teores do elemento nos solos, com exceção do Po extraído por hidróxido, em que as camas de sabugo de milho e o capim-napier se destacaram, e o Pi por ácido em que a cama de maravalha se sobressaiu. Contrariamente, a cama de maravalha encontrou-se entre aquelas que proporcionaram menores teores de P extraível nas diferentes frações, com exceção do Pi extraído por ácido (Quadro 1).

Quadro 1 – Frações de fósforo dos solos muito argiloso e textura média com e sem a aplicação de 80 t ha⁻¹ de camas de aviário. Médias de três épocas de amostragem (0; 15 e 90 dias de incubação)

Solo	Cama	Água		Resina		Bicarbonato		Hidróxido		Ácido		Residual
		Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
----- mg dm ⁻³ -----												
Muito Argiloso	Caf	2,59a	0,83ab	4,36b	1,19a	22,18b	5,65a	227,62b	39,57b	0,92b	0,26a	262,97b
	Sab	1,01bc	0,47ab	6,15ab	1,68a	22,39b	6,57a	234,25b	60,28a	1,37b	0,30a	331,01a
	Mar	0,61c	0,60ab	4,36b	1,47a	21,08b	5,66a	227,46b	42,95b	1,72a	0,58a	305,56ab
	Arr	2,11ab	1,01a	7,47a	1,98a	35,39a	5,38a	285,58a	39,68b	1,47b	0,23a	318,11a
	Cap	1,10bc	0,46b	5,60ab	1,45a	23,89b	5,19a	232,69b	43,12ab	1,09b	0,32a	299,43ab
	Média	1,48	0,67	5,59	1,55	24,99	5,69	241,52	45,12	1,31	0,34	303,42
	Test.	0,04c	0,00c	0,16c	0,55b	0,37c	2,09b	22,38c	19,65c	0,28b	0,44a	199,56c
Textura Média	Caf	19,93b	1,16bc	24,58ab	0,55a	40,86c	3,67a	189,39c	66,68ab	2,82bc	0,31a	153,04ab
	Sab	12,39c	1,15bc	23,45ab	0,32a	48,92b	4,72a	209,65b	78,02a	6,19ab	1,42a	190,50ab
	Mar	14,62c	2,66b	20,03bc	0,55a	42,39bc	4,70a	193,08c	48,47b	4,40ab	0,21a	160,56ab
	Arr	31,10a	4,85a	28,48a	0,65a	56,94a	4,40a	243,47a	62,81ab	7,26a	0,21a	204,35a
	Cap	13,83c	1,62bc	16,75c	0,66a	39,71c	4,15a	194,75bc	59,95b	3,31abc	0,54a	155,20b
	Média	18,37	2,29	22,66	0,55	45,76	4,32	206,07	63,19	4,80	0,54	172,73
	Test.	0,05d	0,13c	0,76d	0,13a	0,54d	0,76b	10,00d	29,82c	0,13c	0,29a	67,99c

Pi: fósforo inorgânico; Po: fósforo orgânico; Caf: cama de casca de café; Sab: cama de sabugo de milho; Mar: cama de maravalha; Arr: cama de casca de arroz; e Cap: cama de capim-napier. Médias seguidas por uma mesma letra, dentro de cada coluna e tipo de solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

4. Discussão

Em face da mais elevada CMAP do solo muito argiloso, observou-se que a época em que ocorreram as maiores transformações de P das camas de aviário no solo foi nos primeiros 15 dias (incubação). Assim, devem-se criar alternativas que visem evitar perda do nutriente nessa fase inicial, como, por exemplo, a compostagem. Reforça esta sugestão o experimento de Sharpley & Moyer (2000), que observaram menor lixiviação de P_i dissolvido no composto de esterco de frango (34 mg L^{-1}) comparativamente com o esterco de frango (75 mg L^{-1}), no primeiro de cinco eventos de simulação de precipitação pluvial.

De 15 a 90 dias (período dos três plantios consecutivos), verificou-se que apesar da absorção de P pelas plantas e a continuidade de adsorção de P pelos solos, houve tendência de estabilização e até de aumento do P das formas lábeis. Este fato poderia ser explicado pela mineralização das formas orgânicas de P, principalmente aquelas de menor labilidade, que estão em maiores teores para as formas mais lábeis. Apesar de não ter sido observada redução significativa dos teores destas formas no período de cultivo, nos dois solos, as formas extraídas por hidróxido e o P residual apresentaram teores bem maiores que as formas lábeis. A este fato soma-se a possibilidade de estar ocorrendo proteção dos ácidos orgânicos das camas de aviário sobre os sítios de adsorção da superfície das argilas dos solos, o que resulta em menor adsorção de P, conforme observado por Beauchemin et al. (1996), Zhang & MacKenzie (1997) e Menzies et al. (1999).

Os maiores teores de P extraído por água do solo textura média indicam que este solo está mais predisposto a perdas de P por lixiviação ou escoamento superficial que o solo textura muito argilosa, que pode atingir os corpos d'água e iniciar o processo de eutroficação (Sharpley & Moyer, 2000; Stout et al., 2003).

O material utilizado como cama tem papel fundamental nas transformações e na disponibilização do P. Assim, a cama de casca de arroz, embora não tenha apresentado os maiores teores de P total, disponibilizou mais P do que as outras camas. Talvez, a casca de arroz, por ser um material com teores elevados de silicato tenha reduzido a adsorção de P, pois, segundo Carvalho et al. (2000), em solo caulínico tratado com silicato de Ca houve mais P disponibilizado para plantas de eucalipto. Portanto, verifica-se que a cama de casca de arroz teria condições de fornecer as maiores quantidades de P para crescimento vegetal, embora a cama de sabugo de milho tenha apresentado os

maiores teores de P entre as camas estudadas. Verificou-se que a cama de maravalha foi a única que forneceu os maiores teores de Pi extraído por ácido no solo argiloso (P ligado a Ca predominantemente e, portanto, de menor disponibilidade). Isto indica ser ela uma fonte de liberação lenta de P, podendo, dessa maneira, ser indicada para culturas de ciclo longo ou plantios sucessivos, pois, assim, haveria maior aproveitamento do nutriente e, dessa maneira, evitaria que formas de P fossem disponíveis, podendo ser transportadas por escoamento superficial ou lixiviados, principalmente em solos de textura mais arenosa (Turner & Haygarth, 2000; McDowel et al., 2002).

Os maiores teores das formas lábeis de P no solo textura média, comparativamente ao de textura muito argilosa, que continha maiores teores das formas de P de moderada a baixa labilidade e as não-lábeis, pode ser explicada pela menor CMAP apresentada pelo solo de textura média em oposição ao de textura muito argilosa. Esta elevada capacidade de adsorção de fosfato faz com que o solo muito argiloso retenha maiores quantidades de P, que ao longo do tempo passam para as formas de baixa labilidade ou não-lábeis, conforme observado por Bahia Filho (1982); Bahia Filho et al. (1983); Lopes (1992); Novais & Smyth (1999) e Conte et al. (2004). Além disso, em solos com textura mais argilosa também há maior “desgaste” do extrator, resultando em menores teores de P extraído (Novais & Smyth, 1999).

Quando da aplicação de cama de aviário, em solo de textura muito argilosa, ocorreu o acúmulo de formas orgânicas de P extraíveis por bicarbonato e hidróxido com o tempo, fato verificado por Lopes (1992); Cross & Schlesinger (1995) e Conte et al. (2003), o que, de certa maneira, evita a perda de P dissolvido em água e que poderia atingir os mananciais (Stout et al., 2003). Este resultado é coerente com o encontrado por Peperzak et al. (1959), que verificaram ser o fosfato de inositol a forma de Po predominante em camas de aviário, e que, segundo vários autores (Bowman & Cole, 1978; Turner et al. 2002; 2003; Koopman et al., 2003), é a forma de P que mais acumula no solo devido sua maior resistência à hidrólise e o grande número de sítios ativos que permitem sua adsorção aos colóides do solo. Ao contrário, no solo de textura média, houve mineralização de parte destas frações, com o tempo de incubação, indicando a menor proteção coloidal deste solo. Além disso, estas formas de Po podem estar sendo aproveitadas pelas plantas, de forma semelhante ao encontrado por Chen et al. (2004), que observaram a aquisição do P como fosfato de inositol por plantas de

pinus (*Pinus radiata* D. Don.) e por Turner et al. (2003), que verificaram correlação positiva entre os teores de mio-inositol hexakisfosfato com os de Pi disponível para as plantas.

5. Conclusões

As maiores transformações do fósforo nas diversas frações ocorreram durante o período inicial de incubação.

As frações de fósforo extraídas por hidróxido seguida do fósforo residual foram as principais encontradas nos dois solos fertilizados com camas de aviário, sendo que as formas de fósforo inorgânicas predominaram sobre as orgânicas para todas as frações.

No solo muito argiloso, as frações de fósforo menos lábeis predominaram, enquanto no solo textura média, as frações mais lábeis de P estiveram em maiores teores.

Os maiores teores de P extraído por água do solo textura média indicaram que este está mais predisposto às perdas de P por lixiviação ou escoamento superficial que o solo textura muito argilosa.

6. Literatura Citada

- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. 1982. 148 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 7:243-249, 1983.
- BEAUCHEMIN, S.; SIMARD, RR. & CLUIS, D. Phosphorus sorption-desorption kinetics of soil under contrasting land uses. J. Environ. Qual., 25:1317-1325, 1996.
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. Soil Sci., 125:49-54, 1978.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- BROOKES, P.C. & POWLSON, D.S. Preventing phosphorus losses during perchloric acid digestion of sodium bicarbonate soil extracts. J. Sci. Food. Agric., 32:671-674, 1981.

- CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FERNANDES, L.A. & OLIVEIRA JR., A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:69-74, 2000.
- CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:635-644, 2001.
- CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; TURNER, B.L.; MAHIEU, N.; DAVIS, M.R.; XU, X.H. & SHERLOCK, R.R. Mineralisation of soil orthophosphate monoesters under pine seedlings and ryegrass. *Austral. J. Soil Res.*, 42:189-196, 2004.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 893-900, 2003.
- CROSS, A.F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64:197-214, 1995.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 46, p. 970-976, 1982.
- KOOPMANS, G.F.; CHARDON, W.J.; DOLFING, J.; OENEMA, O.; VAN DER MEER, P.; RIEMSDIJK, W.H. Weet chemical and phosphorus-31 nuclear magnetic resonance analysis of phosphorus speciation in a sandy soil receiving long-term fertilizer or animal manure applications. *J. Environ. Qual.*, 32:287-295, 2003.
- LOPES, L.R. Comparação de métodos de determinação de fósforo orgânico e dinâmica das formas de P no solo sob diferentes tempos de incubação, doses de calcário e de fosfato. 1992. 81 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- McDOWELL, R.W.; CONDRON, L.M.; MAHIEU, N.; BROOKES, P.C.; POULTRON, P.R. & SHARPLEY, A.N. Analysis of potentially mobile phosphorus in arable soils using solid-state nuclear magnetic resonance. *J. Environ. Qual.*, 31:450-456, 2002.
- McDOWELL, R.W. & SHARPLEY, A.N. Approximating phosphorus release from soils to surface run-off and subsurface drainage. *J. Environ. Qual.*, 30:508-520, 2001.
- MENZIES, N.W.; SKILTON, J.A. & GUPPY, C.N. Phosphorus storage on effluent irrigated land. *J. Environ. Qual.*, 28:750-754, 1999.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.*, 27:31-36, 1962.

- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- PEPERZAK, P.; CALDWELL, A.G.; HUNZIKER, R.R.; BLACK, C.A. Phosphorus fractions in manures. *Soil Sci.*, 87:293-302, 1959.
- ROBINSON, J.S. & SHARPLEY, A.N. Release of nitrogen and phosphorus from poultry litter. *J. Environ. Qual.*, 24:62-67, 1995.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1974. 56p.
- SHARPLEY, A.N. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.*, 24:920-926, 1995.
- SHARPLEY, A.N. & MOYER, B. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. Environ. Qual.*, 29:1462-1469, 2000.
- STOUT, W.L.; SHARPLEY, A.N.; WEAVER, S.R. Effect of amending high phosphorus soils with flue-gas desulfurization gypsum on plant uptake and soil fractions of phosphorus. *Nutr. Cycl. Agroeco.*, 37:21-29, 2003.
- TIESSEN, H. & MOIR, J.O. Characterization of available P in sequential extraction. In: CARTER, M.R. (Ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. p.75-86.
- TURNER, B.L. & HAYGARTH, P.M. Phosphorus forms and concentrations in leachate under four grassland soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1090-1099, 2000.
- TURNER, B.L.; PAPHÁZY, M.J.; HAYGARTH, P.M. & McKELVIE, I.D. Inositol phosphates in the environment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 357:449-469, 2002.
- TURNER, B.L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L.M. Quantification of myo-inositol hexakisphosphate in alkaline soil extracts by solution ^{31}P NMR spectroscopy and spectral deconvolution. *Soil Sci.*, 168:469-478, 2003.
- VESSEREAU, A. *Méthodes statistiques en biologie et en agronomie*. Paris : Libr. J. B. Bailliére, 1960. 539p.
- ZHANG, T.Q. & MACKENZIE, A.F. Changes of soil phosphorus fractions under long-term corn monoculture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:485-493, 1997.

CONCLUSÕES GERAIS

As camas de casca de arroz e de sabugo de milho apresentaram maior potencial agronômico, confirmado pela maior produção de matéria seca do milho, pelo acúmulo de fósforo na parte aérea da planta e pelas maiores quantidades das diferentes formas mais lábeis de fósforo proporcionadas ao solo.

As camas de aviário demonstraram ser fontes eficientes de fósforo para as plantas e com efeito residual satisfatório durante três cultivos sucessivos. No entanto, deve-se atentar quanto às doses ideais a serem aplicadas para que não haja deficiência, toxidez ou excesso de nutrientes, como o fósforo solúvel em água, que pode ser perdido e levar à contaminação de corpos d'água.

As formas orgânicas de fósforo encontraram-se em quantidades apreciáveis nas camas de aviário e podem ser fontes do nutriente para as plantas, principalmente as formas de ortofosfatos de diéster. No entanto, as diferentes velocidades de hidrólise das formas orgânicas de fósforo quando aplicadas no solo foram importantes e devem ser consideradas num programa de manejo.

A época crítica para perdas de fósforo por adsorção, lixiviação ou escoamento superficial foi nos primeiros 15 dias. Desta maneira, aconselha-se que para a conservação desta forma de fósforo essas camas de aviário sejam aplicadas o mais próximo possível do plantio.

APÊNDICE

Quadro 1A – Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) da matéria seca da parte aérea e P acumulado na planta (três cultivos sucessivos de milho), no solo de textura muito argilosa

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio	
		Matéria Seca	P acumulado
Blocos (Bl)	2	0,412	0,220
Camas (C)	4	0,308	0,449
Dose (D)	4	138,284**	25,942**
C x D	16	0,784	0,226
Resíduo (a)	48	0,603	0,279
CV (a)		23,517	50,363
Cult.	2	81,279**	20,911**
Cult. x C	8	2,357**	0,741*
Cult. x D	8	41,461**	10,325**
Cult. x C x D	32	1,122**	0,317
Cult. x Bl	4	0,907	0,528
Resíduo (b)	96	0,563	0,297
Total	224		
CV(b)		22,723	51,962

^{1/} FV: fonte de variação; ^{2/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{3/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b. Bl: blocos; C: camas; D: dose; e Cult.: cultivo.

*, ** Significativos, a 5 e 1 %, de probabilidade, respectivamente.

Quadro 2A – Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) da matéria seca da parte aérea e P acumulado na planta (três cultivos sucessivos de milho), no solo de textura média

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio	
		Matéria Seca	P acumulado
Blocos (Bl)	2	0,412	0,220
Camas (C)	4	0,308	0,449
Dose (D)	4	138,284**	25,942**
C x D	16	0,784	0,226
Resíduo (a)	48	0,603	0,279
CV (a) ^{2/}		23,531	50,353
Cult.	2	81,279**	20,911**
Cult. x C	8	2,357**	0,741*
Cult. x D	8	41,461**	10,325**
Cult. x C x D	32	1,122**	0,317
Cult. x Bl	4	0,907	0,528
Resíduo (b)	96	0,563	0,297
Total	224		
CV(b) ^{3/}		22,737	51,952

^{1/} FV: fonte de variação; ^{2/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{3/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b. Bl: blocos; C: camas; D: dose; e Cult.: cultivo.

*, ** Significativos, a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quadro 3A – Análise de variância de C, N, P e relações C/N e C/P

FV ^{1/}	GL	QM				
		C	N	P	C/N	C/P
Camas	4	91,49	0,08	0,10**	4,28	6,68
Resíduo	10	31,84	0,14	0,01	4,91	11,50
Total	14					
CV (%)		12,64	11,18	6,43	16,51	11,80

C: carbono orgânico; N: nitrogênio; P: fósforo; C/N: relação carbono/nitrogênio; C/P: relação carbono/fósforo; e CV: coeficiente de variação (%).

^{1/} FV: fonte de variação.

*, ** Significativos, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 4A – Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) de formas inorgânicas de P (Pi) e orgânicas (Po), extraídos pelo Método de Bowman (1989), de solo muito argiloso, fertilizado com diferentes camas de aviário

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio	
		Pi	Po
Blocos (Bl)	2	245	295
Camas (C)	4	2085**	1934**
Resíduo (a)	8	779**	309
Tempo (T)	1	4263**	4252**
T x C	4	461	438
T x Bl	2	170	154
Resíduo(b)	8	126	163
CV(a) ^{2/} %		12	16
CV(b) ^{3/} %		5	12

^{1/} FV: fonte de variação. ^{2/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{3/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b.

*, ** Significativos, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 5A – Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi) por diferentes extratores, em dois Latossolos adubados com camas de aviário (pré-incubação)

Solo	Cama	Água		Resina		Bicarbonato		Hidróxido		Ácido		Residual
		Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
----- mg dm ⁻³ -----												
Muito Argiloso	Tes	0,0±0,0 ^{1/}	0,0±0,0	0,0±0,0	0,5±0,2	0,0±0,0	1,7±0,3	21,9±0,4	13,4±0,9	0,4±0,2	0,0±0,0	179,9±24,6
	Caf	7,5±1,0	1,6±0,5	6,7±1,5	1,7±0,9	30,4±4,1	1,9±3,3	212,4±22,4	46,9±8,5	1,6±1,2	0,0±0,0	260,3±56,3
	Sab	2,7±1,9	0,3±0,4	8,6±2,8	1,9±1,6	22,9±2,7	6,2±2,6	196,8±15,1	66,2±19,3	1,8±0,9	0,0±0,0	337,8±66,7
	Mar	1,6±0,0	0,6±0,3	7,3±3,0	2,5±1,1	25,2±4,2	5,5±3,0	202,3±14,0	28,1±10,8	1,1±0,2	0,0±0,0	289,3±15,6
	Arr	5,8±2,2	1,4±0,6	12,1±0,8	3,4±1,5	45,3±7,4	5,4±0,8	262,7±19,1	36,8±2,2	2,7±1,2	0,0±0,0	363,3±63,2
	Cap	3,0±1,4	0,3±0,3	10,4±2,7	2,3±1,4	27,4±7,1	4,7±0,4	198,5±19,5	43,9±13,5	1,4±0,4	0,0±0,0	302,8±7,4
	Média ^{2/}	4,1±2,6	0,8±0,7	9,0±2,8	2,4±1,3	30,3±9,4	4,8±2,5	214,5±29,9	44,4±16,7	1,7±0,9	0,0±0,0	310,7±55,7
Textura Média	Tes	0,0±0,0	0,4±0,4	2,1±0,1	0,0±0,0	0,5±0,2	0,0±0,0	8,9±0,3	18,9±1,1	0,2±0,1	0,5±0,9	62,1±1,3
	Caf	45,3±2,2	1,4±1,7	48,5±6,1	0,0±0,0	49,8±8,3	8,7±1,5	146,5±8,3	119,1±17	1,8±1,5	0,1±0,1	145,9±25,3
	Sab	26,3±3,0	2,3±0,6	42,6±3,4	0,1±0,2	54,6±7,0	11,0±0,8	142,0±14,2	152,4±19	8,1±2,4	3,7±5,7	216,5±38,4
	Mar	38,0±3,2	6,4±1,5	40,1±7,1	0,8±0,8	56,6±7,7	11,2±1,8	154,2±13,9	80,6±6,5	10,±6,7	0,0±0,0	231,0±77,5
	Arr	79,8±10,1	12,5±5,3	50,7±6,7	0,9±0,1	70,8±10,3	12,1±4,7	165,1±9,6	108,9 ±20	4,1±1,6	0,3±0,5	229,4±86,8
	Cap	33,1±1,7	3,6±0,6	24,0±2,4	0,4±0,1	38,7±9,0	8,5±4,8	114,6±13,8	98,4±15,5	2,1±1,7	0,0±0,0	133,4±14,6
	Média ^{2/}	44,5±19,8	5,3±4,7	41,2±10,8	0,4±0,5	54,1±13,0	10,3±3,1	144,5±20,3	111,9±28	5,2±4,5	0,8±2,6	191,2±64,9

Tes: testemunha; Caf: cama de casca de café; Sab: cama de sabugo de milho; Mar: cama de maravalha; Arr: cama de casca de arroz; e Cap: cama de capim.

^{1/} Média ± s. ^{2/} Média sem testemunha.

Quadro 6A – Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi) por diferentes extratores, em dois Latossolos adubados com camas de aviário (pós-incubação)

Solo	Cama	Água		Resina		Bicarbonato		Hidróxido		Ácido		Residual
		Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
----- mg dm ⁻³ -----												
Muito Argiloso	Tes	0,0±0,0 ^{1/}	0,0±0,0	0,4±0,7	0,3±0,2	1,0±1,5	1,0±0,4	20,5±0,5	22,1±1,7	0,0±0,0	1,3±0,5	209,1±7,1
	Caf	0,0±0,1	0,8±0,3	1,4±0,7	0,9±0,2	14,4±4,1	4,5±1,1	217,3±27,6	37,7±11,4	0,6±0,7	0,6±0,2	238,0±29,2
	Sab	0,0±0,1	1,1±0,3	2,5±1,3	1,1±0,2	16,7±2,8	6,6±0,9	227,8±27,9	58,4±4,4	1,6±1,0	0,8±0,0	327,8±30,8
	Mar	0,0±0,0	0,9±0,3	0,9±0,1	0,8±0,4	15,8±0,9	4,9±0,9	237,3±17,6	44,5±9,0	3,4±1,9	1,6±0,9	319,4±39,5
	Arr	0,0±0,0	1,6±0,3	1,7±0,8	0,8±0,3	24,5±1,5	5,6±0,9	280,0±12,3	46,9±4,9	0,9±0,2	0,5±0,3	283,0±7,7
	Cap	0,0±0,0	1,1±0,3	1,4±0,5	0,9±0,5	18,9±2,6	4,7±0,3	238,9±3,6	44,5±2,7	1,1±1,1	0,9±0,8	298,9±48,8
	Média ^{2/}	0,0±0,0	1,1±0,4	1,6±0,9	0,9±0,3	18,1±4,3	5,3±1,1	240,3±27,8	46,4±9,3	1,5±1,4	0,9±0,6	293,4±43,8
Textura Média	Tes	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,2±0,1	0,6±0,4	0,1±0,0	9,9±0,6	54,0±7,7	0,0±0,0	0,0±0,0	59,7±1,8
	Caf	10,6±6,5	2,1±0,6	6,6±3,0	1,7±1,9	38,3±0,8	2,1±1,4	229,3±11,8	35,1±10,6	5,3±2,5	0,7±0,1	149,0±12,2
	Sab	6,5±2,6	0,8±0,1	7,0±3,2	0,9±0,0	48,9±4,0	3,2±1,2	264,5±14,9	32,1±6,3	8,2±6,4	0,5±0,3	168,0±12,2
	Mar	2,7±0,5	1,1±0,1	3,6±0,9	0,8±0,2	37,2±3,2	2,2±0,3	238,2±4,7	24,4±4,4	1,0±0,4	0,5±0,6	89,4±37,5
	Arr	7,2±2,6	1,1±0,1	9,4±2,2	1,0±0,2	53,3±3,1	1,1±1,7	305,1±12,6	37,5±4,2	8,5±2,1	0,2±0,3	187,9±27,1
	Cap	4,9±3,2	0,2±0,4	7,5±1,6	1,4±0,0	41,2±8,0	2,5±0,4	247,7±10,7	35,9±7,8	5,3±2,7	0,2±0,3	161,5±20,6
	Média ^{2/}	6,4±4,1	1,0±0,7	6,8±2,8	1,2±0,8	46,8±7,5	2,2±1,2	257,0±29,3	33,0±7,7	5,7±4,0	0,4±0,4	151,2±40,0

Tes: testemunha; Caf: cama de casca de café; Sab: cama de sabugo de milho; Mar: cama de maravalha; Arr: cama de casca de arroz; e Cap: cama de capim.

^{1/} Média ± s. ^{2/} Média sem testemunha.

Quadro 7A – Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi) por diferentes extratores, em dois Latossolos adubados com camas de aviário (pós-3^o cultivo – 90 dias da aplicação das camas de aviário)

Solo	Cama	Água		Resina		Bicarbonato		Hidróxido		Ácido		Residual
		Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
----- mg dm ⁻³ -----												
Muito Argiloso	Tes	0,1±0,2 ^{1/}	0,0±0,0	0,1±0,1	0,8±0,7	0,1±0,0	3,5±1,4	24,7±1,2	23,5±4,5	0,4±0,2	0,0±0,0	209,7±11,5
	Caf	0,3±0,0	0,1±0,1	5,0±1,0	1,0±1,1	21,8±1,1	10,5±3,7	253,2±9,3	34,2±10,5	0,6±0,1	0,2±0,1	290,5±9,6
	Sab	0,3±0,0	0,0±0,0	7,3±1,6	2,1±1,5	27,5±1,3	6,9±0,6	278,1±18,8	56,3±6,2	0,7±0,1	0,1±0,1	327,4±11,6
	Mar	0,2±0,0	0,3±0,2	4,9±1,0	1,0±0,5	22,2±0,8	6,5±0,3	242,8±15,8	56,2±12,3	0,7±0,2	0,1±0,2	308,0±25,1
	Arr	0,5±0,1	0,1±0,1	8,6±2,4	1,7±0,7	36,3±2,5	5,1±0,8	314,0±21,0	35,3±28,4	0,8±0,2	0,2±0,1	308,0±5,4
	Cap	0,3±0,0	0,1±0,1	5,0±0,4	1,2±0,5	25,4±1,3	6,1±1,1	260,7±14,6	41,1±9,9	0,8±0,0	0,0±0,0	296,6±19,6
	Média ^{2/}	0,3±0,1	0,1±0,1	6,2±2,0	1,4±0,9	26,6±5,6	7,0±2,4	269,8±29,3	44,6±16,	0,7±0,2	0,1±0,1	306,1±18,8
Textura Média	Tes	0,1±0,1	0,0±0,0	0,1±0,1	0,2±0,3	0,5±0,1	2,2±0,1	11,2±0,4	16,6±5,6	0,2±0,0	0,4±0,5	82,2±18,1
	Caf	3,9±0,2	0,3±0,4	18,7±1,9	0,0±0,0	34,4±2,8	0,2±0,2	192,4±18,1	45,9±7,9	1,4±0,1	0,2±0,1	164,2±40,9
	Sab	4,4±1,3	0,4±0,7	20,7±5,8	0,0±0,0	43,3±3,9	0,0±0,0	222,5±17,0	49,5±7,3	2,2±0,0	0,1±0,2	187,0±62,4
	Mar	3,2±0,9	0,5±0,6	16,4±2,0	0,0±0,0	33,3±3,3	0,6±0,6	186,9±11,6	40,4±7,4	2,2±0,2	0,2±0,1	161,3±5,5
	Arr	6,3±1,2	0,9±0,4	25,4±3,8	0,0±0,0	46,8±5,1	0,0±0,0	260,2±12,3	42,1±11,6	9,2±0,6	0,2±0,2	195,7±26,7
	Cap	3,5±1,5	1,0±0,3	18,8±7,8	0,2±0,4	39,3±5,6	1,4±1,4	221,9±2,8	45,6±19,5	2,5±0,4	1,4±1,9	170,7±15,6
	Média ^{2/}	4,2±1,5	0,6±0,5	20,0±5,1	0,0±0,2	39,4±6,4	0,4±0,8	216,8±29,4	44,7±10,4	3,5±3,0	0,4±0,9	175,8±33,6

Tes: testemunha; Caf: cama de casca de café; Sab: cama de sabugo de milho; Mar: cama de maravalha; Arr: cama de casca de arroz; e Cap: cama de capim.

^{1/} Média ± s. ^{2/} Média sem testemunha.

Quadro 8A – Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) dos diferentes compartimentos de P do solo muito argiloso, fertilizado com diferentes camadas de aviário

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio										
		PIA	POA	PIR	POR	PIB	POB	PIH	POH	PIAC	POAC	PR
Blocos (Bl)	2	0,26	0,05	0,28	1,19	16,47	4,11	103,40	158,95	0,24	0,09	431,99
Camas (C)	5	8,06**	1,08**	56,57**	2,13	1159,84**	21,50**	76465,01**	1510,93**	2,31*	0,16	20919,85**
Resíduo(a)	10	0,69	0,07	2,42	0,75	16,96	2,51	559,53	99,62	0,65	0,12	1531,51
Tempo (T)	2	65,32**	3,18**	171,96**	6,95**	473,63**	25,30**	9755,00**	44,84	3,33*	4,88**	615,63
T x C	10	7,29**	0,51**	11,52**	0,83	52,59**	8,46**	656,15**	196,55	1,77*	0,20	1646,28
T x Bl	4	0,35	0,05	3,00	0,77	20,43*	4,76	231,03	106,45	0,23	0,08	113,71
Resíduo(b)	20	0,72	0,09	2,20	0,83	5,35	2,28	166,79	136,37	0,65	0,10	1146,33
CV(a) ^{2/}		66,75	47,35	33,24	62,26	19,72	31,11	11,54	24,42	70,73	95,67	13,68
CV(b) ^{3/}		68,17	52,00	31,67	65,50	11,07	29,64	6,30	28,60	70,73	86,67	11,83

PIA: P Inorgânico em Água; POA: P Orgânico em Água; PIR: P Inorgânico em Resina; POR: P Orgânico em Resina; PIB: P Inorgânico em Bicarbonato; POB: P Orgânico em Bicarbonato; PIH: P Inorgânico em Hidróxido; POH: P Orgânico em Hidróxido; PIAC: P Inorgânico em Ácido; POAC: P Orgânico em Ácido; e PR: P Residual.

^{1/} FV: fonte de variação. ^{2/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{3/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b.

*, ** Significativos, a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quadro 9A – Análise de variância pelo delineamento em “culturas perenes” (Vessereau, 1960) dos diferentes compartimentos de P do solo de textura média, fertilizado com diferentes camadas de aviário

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio										
		PIA	POA	PIR	POR	PIB	POB	PIH	POH	PIAC	POAC	PR
Blocos (Bl)	2	5,84	3,38	26,65	0,35	39,66	3,87	1,53	381,66	11,04	2,05	3433,89
Camas (C)	5	926,54**	24,19**	863,31**	0,39	3440,27**	20,44**	61239,66**	2496,82**	58,39**	1,96	20340,20**
Resíduo(a)	10	12,68	1,88	18,34	0,24	36,52	3,49	160,19	142,72	3,99	2,15	1523,36
Tempo (T)	2	6409,44**	85,05**	3851,18**	3,94**	707,42*	323,44**	40781,54**	20320,38**	15,87	0,94	5470,12*
T x C	10	583,87**	19,03**	210,74**	0,45	102,57**	0,91**	227,04**	21,19**	27,07**	2,61	2942,77*
T x Bl	4	12,24	3,10	1,20	0,19	51,54	22,40	2328,48	2128,47	5,15	1,99	1810,31
Resíduo(b)	20	10,90	1,70	17,40	0,26	23,04	3,72	105,58	119,78	7,63	2,14	1093,10
CV(a) ^{2/}		23,24	70,50	22,53	103,42	15,81	50,06	7,30	20,73	49,70	295,09	25,14
CV(b) ^{3/}		21,55	67,08	21,94	107,92	12,56	51,65	5,93	18,99	68,77	294,61	21,29

PIA: P Inorgânico em Água; POA: P Orgânico em Água; PIR: P Inorgânico em Resina; POR: P Orgânico em Resina; PIB: P Inorgânico em Bicarbonato; POB: P Orgânico em Bicarbonato; PIH: P Inorgânico em Hidróxido; POH: P Orgânico em Hidróxido; PIAC: P Inorgânico em Ácido; POAC: P Orgânico em Ácido; e PR: P Residual.

^{1/} FV: fonte de variação. ^{2/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{3/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b.

*, ** Significativos, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 10A – ANOVA com efeitos l e q do tempo dentro das camas, dos diferentes compartimentos de P do solo muito argiloso, fertilizado com diferentes camas de aviário, em função do tempo

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio										
		PIA	POA	PIR	POR	PIB	POB	PIH	POH	PIAC	POAC	PR
Bloco	2	0,26	0,05	0,28	1,19	16,47	4,11	103,40	158,95	0,24	0,09	431,99
Camas	5	8,06**	1,08**	56,57**	2,13	1159,84**	21,50**	76465,01**	1510,93**	2,31*	0,16	20919,85**
Resíduo(a)	10	0,69	0,07	2,42	0,75	16,96	2,51	559,53	99,62	0,65	0,12	1531,51
T x Bl ^{2/}	4	0,35	0,05	3,00	0,77	20,43*	4,76	231,03	106,45	0,23	0,08	113,71
Tld/C0 ^{3/}	1	0,03	0,00	0,01	0,34	0,11	8,08	21,93	92,96	0,04	0,38	716,31
Tqd/C0	1	0,00	0,00	0,25	0,07	1,60	1,78	5,78	86,73	0,25	2,84**	1028,43
Tld/C1	1	39,28**	2,78**	0,11	0,30	15,48	114,09**	2977,91**	171,19	0,91	0,00	2858,01
Tqd/C1	1	67,57**	0,54**	42,87**	0,67	372,42**	2,48	6,06	87,22	1,17	0,56**	1301,26
Tld/C2	1	3,70*	0,55*	1,45	0,45	91,68**	0,55	9562,65**	97,36	1,84	0,06	88,03
Tqd/C2	1	8,77**	1,22**	60,42**	1,30	84,54**	0,17	531,38	65,41	0,00	1,02**	119,07
Tld/C3	1	1,46	0,32	0,04	1,54	0,40	2,86	1501,72**	958,43*	2,96*	0,39	117,83
Tqd/C3	1	3,41*	0,33*	62,57**	3,73*	138,28**	0,92	1395,09**	239,63	9,47**	4,40**	1273,09
Tld/C4	1	19,95**	3,79**	0,12	1,40	3,91	0,22	3959,22**	51,88	2,85*	0,00	1331,28
Tqd/C4	1	42,50**	0,25	167,80**	9,23**	646,22**	0,12	131,33	184,67	4,19**	0,41*	8800,88**
Tld/C5	1	5,42*	0,49*	8,44	0,68	2,01	3,77	4405,40**	17,78	0,56	0,18	45,31
Tqd/C5	1	11,47**	1,25**	115,07**	2,51	116,38**	0,13	1573,07**	1,93	0,10	1,46**	14,50
Resíduo(b)	20	0,72	0,09	2,20	0,83	5,35	2,28	166,79	136,37	0,65	0,10	1146,33
CV(a) ^{4/}		66,75	47,35	33,24	62,26	19,72	31,11	11,54	24,42	70,73	95,67	13,68
CV(b) ^{5/}		68,17	52,39	31,67	65,50	11,07	29,64	6,30	28,57	70,73	86,67	11,83

PIA: P Inorgânico em Água; POA: P Orgânico em Água; PIR: P Inorgânico em Resina; POR: P Orgânico em Resina; PIB: P Inorgânico em Bicarbonato; POB: P Orgânico em Bicarbonato; PIH: P Inorgânico em Hidróxido; POH: P Orgânico em Hidróxido; PIAC: P Inorgânico em Ácido; POAC: P Orgânico em Ácido; e PR: P Residual.

^{1/} FV: fonte de variação. ^{2/} T x Bl: tempo x bloco. ^{3/} Tld/C0: equação linear de tempo na ausência de cama; Tqd/C0: equação quadrática de tempo na ausência de cama; Tld/C1: equação linear de tempo dentro de cama de casca de café; Tqd/C1: equação quadrática de tempo dentro de cama de casca de café; Tld/C2: equação linear de tempo dentro de cama de sabugo de milho; Tqd/C2: equação quadrática de tempo dentro de cama de sabuguinho; Tld/C3: equação linear de tempo dentro de cama de maravalha; Tqd/C3: equação quadrática de tempo dentro de cama de maravalha; Tld/C4: equação linear de tempo dentro de cama de casca de arroz; Tqd/C4: equação quadrática de tempo dentro de cama de casca de arroz; Tld/C5: equação linear de tempo dentro de cama de capim; e Tqd/C5: equação quadrática de tempo dentro de cama de capim. ^{4/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{5/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b.

*, ** Significativos, a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quadro 11A – ANOVA com efeitos l e q do tempo dentro das camas, dos diferentes compartimentos de P do solo de textura média fertilizado com diferentes camas de aviário em função do tempo

FV ^{1/}	GL	Quadrado Médio										
		PIA	POA	PIR	POR	PIB	POB	PIH	POH	PIAC	POAC	PR
Bloco	2	5,84	3,38	26,65	0,35	39,66	3,87	1,53	382,66	11,04	2,05	3433,89
Camas	5	926,54**	24,19**	863,31**	0,39	3440,27**	20,44**	61239,66**	2496,82**	58,39**	1,96	20340,20**
Resíduo(a)	10	12,68	1,88	18,34	0,24	36,52	3,49	160,19	142,72	3,99	2,15	1523,36
T x Bl ^{2/}	4	12,24	3,10	1,20	0,19	51,54	0,91	227,04	21,19	5,15	1,99	1810,31
Tld/C0 ^{3/}	1	0,04	0,11	2,94	0,04	0,01	8,87	7,78	441,11	0,00	0,00	860,72
Tqd/C0	1	0,00	0,12	5,60	0,03	0,04	0,11	0,59	2193,88**	0,09	0,43	58,78
Tld/C1	1	1616,21**	3,52	415,03**	0,71	245,44**	72,32**	487,07*	3557,24**	5,39	0,02	576,18
Tqd/C1	1	1342,40**	1,18	2370,17**	4,77**	137,72**	45,19**	9844,15**	8996,78**	21,75	0,60	0,01
Tld/C2	1	419,05**	3,60	158,84**	0,27	165,10*	128,75**	2525,30**	6833,13**	68,29**	11,03*	274,58
Tqd/C2	1	455,75**	2,70	1775,06**	1,03*	24,84	61,92**	20720,23**	18527,08**	1,87	11,86*	3306,12
Tld/C3	1	946,99**	30,94**	213,75**	1,31*	516,66**	105,97**	8,70	762,79*	38,90*	0,00	646,33
Tqd/C3	1	1516,30**	33,45**	1839,76**	0,05	417,45**	90,75**	10735,12**	4258,69**	102,56**	0,32	29450,68**
Tld/C4	1	4329,72**	108,45**	206,76**	1,75*	607,30**	127,95**	3803,30**	3255,12**	23,07	0,00	676,98
Tqd/C4	1	6354,41**	157,25**	2393,86**	0,16	315,43**	140,98**	26836,6**	6319,19**	21,96	0,01	2249,06
Tld/C5	1	734,06**	3,86	1,29	0,51	165,10*	48,35**	6756,23**	1757,67**	1,09	3,65	1430,48
Tqd/C5	1	942,61**	15,21**	427,67**	1,76**	24,84	39,74**	23122,48**	5022,53**	17,48	0,01	837,88
Resíduo(b)	20	10,90	1,70	17,39	0,26	23,04	3,72	105,58	119,78	7,63	2,14	1093,10
CV(a) ^{4/}		23,24	70,50	22,53	103,42	15,81	50,06	7,30	20,73	49,70	295,09	25,14
CV(b) ^{5/}		21,55	67,08	21,94	107,92	12,56	51,65	5,93	18,99	68,76	294,61	21,29

PIA: P Inorgânico em Água; POA: P Orgânico em Água; PIR: P Inorgânico em Resina; POR: P Orgânico em Resina; PIB: P Inorgânico em Bicarbonato; POB: P Orgânico em Bicarbonato; PIH: P Inorgânico em Hidróxido; POH: P Orgânico em Hidróxido; PIAC: P Inorgânico em Ácido; POAC: P Orgânico em Ácido; e PR: P Residual.

^{1/} FV: fonte de variação. ^{2/} T x Bl: tempo x bloco; ^{3/} Tld/C0: equação linear de tempo na ausência de cama; Tqd/C0: equação quadrática de tempo na ausência de cama; Tld/C1: equação linear de tempo dentro de cama de casca de café; Tqd/C1: equação quadrática de tempo dentro de cama de casca de café; Tld/C2: equação linear de tempo dentro de cama de sabugo de milho; Tqd/C2: equação quadrática de tempo dentro de cama de sabuguinho; Tld/C3: equação linear de tempo dentro de cama de maravalha; Tqd/C3: equação quadrática de tempo dentro de cama de maravalha; Tld/C4: equação linear de tempo dentro de cama de casca de arroz; Tqd/C4: equação quadrática de tempo dentro de cama de casca de arroz; Tld/C5: equação linear de tempo dentro de cama de capim; e Tqd/C5: equação quadrática de tempo dentro de cama de capim. ^{4/} CV(a): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo a. ^{5/} CV(b): coeficiente de variação (%) correspondente ao resíduo b.

*, ** Significativos, a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.