



Semina: Ciências Agrárias

ISSN: 1676-546X

semina.agrarias@uel.br

Universidade Estadual de Londrina

Brasil

Pereira Duda, Gustavo; Marinho Guerra, José Guilherme; Gervasio Pereira, Marcos;

Cunha dos Anjos, Lúcia Helena; Rosas Ribeiro, Mateus

Avaliação da biodisponibilidade de fósforo em diferentes classes de solos do Brasil

Semina: Ciências Agrárias, vol. 34, núm. 4, julio-agosto, 2013, pp. 1563-1575

Universidade Estadual de Londrina

Londrina, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744122010>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Avaliação da biodisponibilidade de fósforo em diferentes classes de solos do Brasil

Phosphorus bioavailable evaluation in different soil classes from Brazil¹

Gustavo Pereira Duda²; José Guilherme Marinho Guerra³;
Marcos Gervasio Pereira^{4*}; Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁴; Mateus Rosas Ribeiro⁵

Resumo

O presente trabalho objetivou verificar a influência do reservatório de fósforo (P) biodisponível sobre a disponibilidade deste elemento para as plantas. Na primeira etapa, foi quantificado o teor de P biodisponível em 14 amostras pertencentes a algumas classes de solos do Brasil, sob diferentes coberturas vegetais. Para tanto, foi montado um ensaio de incubação (bioensaio) em ambiente com temperatura controlada, em delineamento experimental em blocos ao acaso e duas repetições. As mesmas amostras de solos utilizadas no bioensaio foram empregadas em um experimento conduzido em casa-de-vegetação, utilizando-se o delineamento experimental blocos ao acaso com três repetições. Os solos foram cultivados com *Brachiaria decumbens* Staph por um período de 42 dias após a germinação das sementes. Os teores de P orgânico lável e P microbiano, juntos, foram maiores que o Pi lável na maioria das amostras de solos. A acumulação de P na parte aérea da *B. decumbens* mostrou-se positivamente relacionada com o reservatório biodisponível deste elemento. Os solos que apresentaram teores mais elevados de P orgânico solúvel em ácido e P orgânico total proporcionaram maior acumulação de P pela *B. decumbens*.

Palavras-chave: Fósforo orgânico, Fósforo orgânico lável, *Brachiaria decumbens*

Abstract

This study aimed to verify the influence of bioavailable phosphorus reservoir on the availability of this element to the plants. On the first stage, the bioavailable P content in 14 samples from some Brazilian soil classes with different vegetation, was determined. For this goal, an incubation essay (bioassay) was carried out in an environment with controlled temperature in a completely randomized block design with two replications. The same soil samples used in the bioassay were used in an experiment carried out in a greenhouse, using the same experimental design with three replications. The soils were cultivated with signal grass (*Brachiaria decumbens*, Staph) during 42 days after seed germination. It was observed that the Po labile and the microbial P, together, presented a higher content when compared to the Pi labile in the majority of soil samples. It was also observed that the P accumulation in the aerial portion of *Brachiaria decumbens* was positively related to the bioavailable reservoir of this element. The soils that showed the highest organic phosphorus acid soluble (Po H⁺) and total organic phosphorus (Pot) contents showed a higher P accumulation by the *B. decumbens*.

Key words: Organic phosphorus, labile organic phosphorus, *Brachiaria decumbens*

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.UFRJ, Seropédica, RJ.

² Prof. da Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Unidade Acadêmica de Garanhuns. Av. Bom Pastor Boa Vista, CEP: 55296-910. Garanhuns, PE. E-mail: gpduda@gmail.com

³ Pesquisador da Embrapa Agrobiologia, BR 465 km7, Seropédica, RJ. E-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

⁴ Prof^a Associado IV, Dept^o de Solos, Instituto de Agronomia, UFRJ, Seropédica, RJ. E-mail: gervasio@ufrj.br lanjos@ufrj.br

⁵ *In Memoriam* Dept^o de Agronomia UFRPE, Dois Irmãos Recife, PE.

* Autor para correspondência

Introdução

O fósforo (P) é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, podendo ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas. A sua disponibilidade nos solos é afetada por uma série de reações físicas, químicas e bioquímicas, destacando-se a adsorção, precipitação (NOVAIS; SMYTH, 1999), imobilização do P inorgânico (Pi), transformação de P inorgânico em orgânico (TIECHER; SANTOS; CALEGARI, 2012) e mineralização do P orgânico (Po) (PAUL; CLARK, 1996; FOX et al., 2011).

O conteúdo de P orgânico total do solo é bastante variável. Segundo STEVENSON (1994), a variação foi 15 a 80 % em diversos tipos de solos estudados. No caso do Brasil, foi encontrada variação de 13 a 47 % do P total ocorrendo na forma de Po, (GUERRA et al., 1996; CUNHA et al., 2007) e 7 a 83 %, conforme Duda (2000). De acordo com estes autores, esta variação pode estar associada aos teores de carbono e fósforo total do solo.

Devido aos altos teores de P orgânico e baixos teores de P disponível, acredita-se que a disponibilidade de P pode ser controlada também pela mineralização do compartimento orgânico (ISLAM ; MANDAL; OSMAN, 1979; TIESSEN; STEWART; COLE, 1984; ACHAT et al., 2010a, que contribui dessa forma para o aumento da concentração de P inorgânico disponível às plantas (JUMA; TABATABAI, 1978; MCGILL; COLE, 1981; HARRISON, 1982; TARAFDAR; CLAASSEN, 1988), desde que não haja teores elevados de Pi fornecido via fertilizante, pois o mesmo inibe a produção de fosfatases (FOX; COMERFORD, 1992; BÜNEMANNA et al., 2012).

Nos solos tropicais nota-se, algumas vezes, ausência de resposta das culturas a fertilização fosfática (NEGRIN; GONZÁLEZ-CARCEDO; HERNÁNDEZ-MORENO, 1995), o que tem despertado o interesse no uso de Po também como bioindicador de fertilidade do solo. Adeputu e Corey (1976) trabalhando com solos da Nigéria

verificaram altos coeficientes de correlação entre o P absorvido e o P mineralizável.

Para Harrison (1987), a redução no conteúdo de Po, pelo cultivo, evidencia que o compartimento do Po pode ser uma importante fonte de P para as plantas. Zou, Binkley e Doxatader (1992), mostraram que a mineralização do Po em solos sob floresta contribuiu com 20 a 60 % do P disponível total, já nos solos cultivados com gramíneas, a contribuição foi de apenas 6 %.

Na avaliação da fertilidade do solo, os métodos tradicionais enfocam a fração do P inorgânico (Pi) como indicadora da disponibilidade deste nutriente para as plantas. Porém, para Thien e Myers (1992), tanto o compartimento inorgânico como o orgânico (P orgânico lável e P microbiano) seriam determinantes para a disponibilidade biológica do fósforo. Segundo estes autores o Po lável, em solos que não foram fertilizados com P, contribui expressivamente para o índice de biodisponibilidade do P com magnitude maior que o Pi. Desta forma, o Po pode contribuir como um reservatório potencial de P disponível em solos com baixos teores de P inorgânico disponível (TIESSEN; STEWART; COLE, 1984; GUERRA et al., 1996).

A partir do exposto o presente estudo teve como objetivo caracterizar o reservatório de P biodisponível, em diferentes classes de solos.

Material e Métodos

Ensaio de incubação

Foram coletadas amostras do horizonte superficial (0-20 cm) de 14 diferentes classes de solos localizadas em diferentes regiões do Brasil (Tabela 1). Após a coleta, as amostras de terra foram secadas ao ar e passadas por peneira com abertura de 2 mm de diâmetro de malha. Posteriormente, foram retiradas 10 g de cada solo os quais foram acondicionados em erlenmeyer de 250 cm³. As amostras receberam 3,8 mL de água destilada (THIEN; MYERS, 1992), e após a adição da água

os recipientes foram imediatamente fechados com papel alumínio sendo feito um pequeno orifício para facilitar a aeração.

Posteriormente os recipientes foram acondicionados em câmara de incubação a temperatura de 27º C, durante 7 dias, com o objetivo de ativar a microbiota do solo. O tratamento foi duplicado sendo que em uma amostra foi quantificado o P inorgânico lábil (Pil), o P orgânico lábil (Pol), e na outra, o P microbiano (Pm). As determinações do Pil e Pol foram realizadas segundo Bowman e Cole (1978), com modificações na relação solo: extrator de 1:20 para 1:10 (GUERRA, 1993). Acondicionou-se 10 g de solo em recipiente de vidro e adicionou-se 100 mL de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (pH ajustado a 8,5). Após agitação por 30 minutos o extrato foi deixado em repouso por igual período

e filtrado. Uma alíquota de 10 mL do extrato foi submetida à digestão com 1 mL de ácido perclórico concentrado na presença de 1 mL de cloreto de magnésio saturado para obtenção do P total lábil (Ptl). Após o término da digestão cada amostra foi diluída e feita a determinação colorimétrica do P. A outra parte do extrato foi usada para a determinação do P inorgânico lábil (Pil), utilizando-se 10 mL de extrato e 0,5 cm³ de carvão ativo em pó previamente purificado. Após a adição do carvão, a alíquota foi filtrada em papel de filtro rápido, obtendo-se o extrato clarificado, no qual foi determinado o Pil por colorimetria conforme Braga e Defelipo (1974). A quantificação do Pol foi obtida através da diferença entre o Ptl e Pil lábeis. Com estes valores calculou-se, também a relação percentual entre o Pol e o Ptl.

Tabela 1. Localização dos perfis de solo, cobertura vegetal e atributos químicos dos solos utilizados no ensaio de incubação e de casa-de-vegetação.

Classes de Solo	Legenda	Local	Cobertura	Atributos Químicos					
				pH	Al	Ca	Mg	K	
								cmol _c kg ⁻¹	
LATOSSOLO AMARELO	LA	Piraí-RJ	Pastagem	4,3	1,5	0,8	1,1	0,34	0,04
NEOSSOLO LITÓLICO	Ra	Itamonte-MG	Mata	4,5	2,5	0,0	0,7	0,31	0,07
CHERNOSSOLO HÁPLICO	BZ	Rio de Janeiro-RJ	Pastagem	5,4	0,1	8,5	4,4	0,09	0,16
LATOSSOLO VERMELHO	LE	Pouso Algre-MG	Pastagem	4,6	0,8	0,0	0,4	0,09	0,01
NITOSSOLO VERMELHO	TE	Cabo-PE	Cana	4,1	1,4	0,0	0,7	0,03	0,02
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PV	Seropédica-RJ	Pastagem	5,7	0,0	0,6	2,7	0,42	0,07
PLANOSOLO HÁPLICO	PL	Seropédica-RJ	Pastagem	4,8	0,2	0,2	0,6	0,06	0,01
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LVa	Bom Jardim-PE	Pastagem	4,8	0,5	2,6	1,0	0,20	0,03
ARGISSOLO AMARELO	PA	Cachoeira de Macacu-RJ	Pastagem	5,0	0,2	2,7	1,3	0,06	0,04
ARGISSOLO VERMELHO	PEe	Cantagalo-RJ	Pastagem	7,8	0,0	10,6	0,8	0,04	0,05
CAMBISSOLO HÁPLICO	Ca	Nova Friburgo-RJ	Pinus	3,9	3,8	0,0	0,8	0,11	0,04
CHERNOSSOLO RÊNDZICO	RZ	Italva-RJ	Pastagem	7,4	0,0	18,9	4,1	0,20	0,04
ORGANOSOLO HÁPLICO	O	Itaguaí-RJ	Pastagem	4,5	1,1	7,2	4,4	0,21	0,07
GLEISSOLO HÁPLICO	GPH	Seropédica-RJ	Pastagem	4,5	2,4	1,4	1,1	0,57	0,15

Fonte: Elaboração dos autores.

O P microbiano (Pm) foi quantificado pelo método fumigação-extracção conforme Brookes, Powlson e Jenkinson (1982) e Maclauglin, Alston e Martin (1986), de acordo com adaptações introduzidas por Guerra (1993). O conteúdo de P microbiano (Figura 2) foi determinado conforme Brookes, Powlson e Jenkinson (1982), Maclauglin, Alston e Martin (1986), com modificação na relação solo:solução de 1:10 para 1:20 conforme Guerra et al. (1995). Para tanto, pesou-se 10 g de solo úmido e adicionou-se 100 mL NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} com pH corrigido para 8,5. Deste extrato filtrado foi retirada uma alíquota de 20 mL, a qual foi submetida à digestão com 2 mL de ácido perclórico na presença de 2 mL de cloreto de magnésio, sendo o P determinado por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974). O P microbiano do solo foi calculado a partir da diferença na quantidade de P nos extratos fumigados e não fumigados, dividido por 0,40.

Após a quantificação do Pil, Pol e Pm, foi calculado o P immobilizado (Pim), P mineralizável (Pmin), P biodisponível (Pbio) e o P orgânico biodisponível (Pobio) como sugerido por Thien e Myers (1992). Sendo o P immobilizado (Pim) obtido a partir da diferença entre o Pil_a antes da incubação e o Pil_d (Pim = Pil_a – Pil_d) após a incubação das amostras. O P mineralizável (Pmin) corresponde ao somatório do Pol e o Pm (Pmin = Pol + Pm). Já o P biodisponível (Pbio) refere-se ao somatório das frações: Pil, Pol e Pm (Fio = (Pil_a + Pol + Pm). Para a obtenção do P orgânico biodisponível (Pobio), considerou-se o somatório do Pol com o Pm subtraindo-se do Pim (Pobio = Pol + Pm – Pim) (Figura 1).

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com duas repetições.

Bioensaio em casa-de-vegetação

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação em delineamento blocos ao acaso com 3 repetições, utilizando-se amostras dos mesmos solos usadas no ensaio de incubação (Tabela 1).

O material de solo após seco ao ar, destorrado e peneirado foi acondicionado em potes plásticos com capacidade para 500 g, sendo a umidade mantida próxima da capacidade de campo. Os vasos foram semeados com *Brachiaria decumbens* Stapf, deixando-se, após a germinação, duas plantas por vaso. Os solos utilizados neste ensaio, não receberam nenhum corretivo ou fertilizante. Ao final de 42 dias após a germinação, foi realizado o corte da parte aérea. O material coletado foi seco em estufa com circulação de ar forçado por 24 horas a 65° C, sendo posteriormente pesado. Todo o material seco foi submetido à digestão nitroperclórica (EMBRAPA, 2009) e, em seguida, realizada a determinação do teor de P na parte aérea, de acordo com o método descrito por Braga e Defelipo (1974).

As diferentes formas de P determinadas foram correlacionadas com carbono orgânico do solo (C) determinado em meio ácido (H_2SO_4) com aquecimento externo, Fe e Al extraídos por ditionito (Fed e Ald) (EMBRAPA, 2009). Através da extração seqüencial com ácido diluído e álcali, obteve-se o Po solúvel em meio ácido (Po H^+) e o Po solúvel em meio alcalino (Po OH^-), segundo metodologia preconizada por Bowman (1989). O Po H^+ foi obtido através da adição de 3 mL de H_2SO_4 concentrado em 2g de amostra de solo avolumando-se a 50 ml com água destilada. Em seguida procedeu-se a centrifugação 1884 x g por 10 minutos e filtração com papel de filtro lento. Ao tubo de centrífuga contendo a amostra de solo, adicionou-se o papel filtro picotado, utilizado anteriormente, e 100 mL de NaOH 0,5 mol L^{-1} , para obtenção do Po OH^- . Em seguida, o tubo foi agitado manualmente colocando-o em banho-maria a 80° C por 2 horas. Após o resfriamento do tubo o extrato foi submetido a centrifugação e filtração como descrito anteriormente. Os extratos ácidos e alcalinos foram submetidos à determinação do P inorgânico, após clarificação e P total após digestão, como descrito na determinação do P orgânico lável. O P orgânico total (Pot) foi obtido a partir da soma do Po H^+ e Po OH^- .

A quantificação de P nos extratos clarificados e digeridos foi feita por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974).

O fósforo orgânico total (Pot), fósforo orgânico solúveis em ácido ($Po H^+$) e em álcali ($Po OH^-$). O P remanescente (Prem) das amostras foi quantificado segundo Alvarez V. e Fonseca (1990). Para tanto, pesou-se 2,5 g de amostra de solo que foi colocada em erlenmeyer de 125 cm³. Neste recipiente foram adicionados 25 ml de solução de $CaCl_2$ 10 mmol L⁻¹ contendo 60 mg de P L⁻¹, e em seguida o recipiente foi posto para agitar em agitador horizontal a 220 rpm durante 5 minutos. Após este período deixou-se a suspensão em repouso por uma noite sendo, no dia seguinte, retirada uma alíquota da solução sobrenadante para quantificação do Prem. A significância dos coeficientes de correlação foi determinada em nível de 5 % de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os resultados da análise de P disponível (Pdisp) nas amostras de solo revelaram o baixo teor deste elemento, para a maioria das amostras. Apenas os solos Ra, Bz, Rz e O (Tabela 2), apresentaram valores de Pdisp acima do nível crítico deste elemento para plantas de Brachiaria (BONFIM et al., 2004).

Das 14 ordens de solos estudados 10 apresentaram valores de Pol maiores que o Pdisp. Três ordens (RZ, O e BZ) apresentaram valores de Pdisp maiores que o Pil e Pol e, um deles, o PV, valores semelhantes (Tabela 2). Como os solos RZ, O e BZ apresentam valores elevados de Ca trocável (Tabela 1), é possível que o extrator utilizado para Pdisp esteja solubilizando P associado a Ca, como já foi destacado por alguns autores (NOVAIS; SMYTH, 1999; BROGGI et al., 2010). Nos solos supracitados os teores de Pdisp foram maiores que o Pil, apontando para a maior solubilização de P ligado a Ca quando utiliza-se o extrator Mehlich 1.

Tabela 2. Teores de P disponível, inorgânico, total e orgânico solúveis em bicarbonato de sódio, ácido e álcali.

Legenda	Pdisp	Pil	Ptl	Pol	Pol/Ptl	Pi H ⁺	Pt H ⁺	Po H ⁺	Pi OH ⁻	Pt OH ⁻	Po OH ⁻	Pot
		mg kg ⁻¹			%				mg kg ⁻¹			
LA	6,2	1,1	11,9	10,9	91,0	171,9	234,1	62,1	52,8	83,6	30,8	93,0
Ra	34,5	25,2	77,1	51,9	67,0	846,4	1261,2	414,8	300,6	537,9	237,3	652,0
BZ	24,3	12,9	22,4	9,5	42,0	779,1	1186,5	407,4	205,9	229,8	23,9	431,2
LE	1,3	1,2	6,8	5,7	83,0	165,9	213,3	47,4	84,9	119,5	34,6	82,0
TE	1,7	0,7	8,8	8,1	92,0	313,4	446,6	133,2	153,0	183,5	30,5	163,7
PV	7,8	2,4	10,1	7,7	76,0	122,6	232,9	110,3	33,2	60,7	27,5	137,8
PL	5,3	2,7	9,2	6,5	70,0	19,0	40,6	21,6	0,8	9,3	8,5	30,1
LVa	6,0	1,3	9,2	7,9	86,0	162,7	227,2	64,5	44,3	68,3	23,9	88,4
PA	2,2	0,8	8,4	7,6	91,0	94,6	185,7	91,1	32,0	53,5	21,5	112,6
PEe	2,8	1,6	6,8	5,2	77,0	170,2	257,0	86,8	26,8	40,6	13,7	100,5
Ca	6,2	4,2	19,6	15,5	79,0	131,5	210,3	78,8	36,4	65,9	29,5	108,3
RZ	116,1	4,6	10,1	5,5	55,0	743,8	912,0	168,2	126,8	134,9	8,1	176,3
O	123,9	59,5	92,4	32,8	36,0	584,9	1195,2	610,3	123,0	200,5	77,5	687,8
GPH	9,6	2,1	23,4	21,3	91,0	102,2	193,5	91,3	47,6	70,8	23,2	114,5
Média	24,8	8,6	22,6	14,0	74,0	314,8	485,4	170,6	90,6	132,8	42,2	212,7
CV (%)	21,2	19,2	8,6	5,7	6,3	9,9	9,3	14,5	12,3	21,3	44,1	13,8

Pdisp, P extraído em Mehlich 1; Pil, P inorgânico lável; Ptl, P total lável; Pol, P orgânico lável; Pi H⁺, P inorgânico solúvel em ácido; Pt H⁺, P total solúvel em ácido; Po H⁺, P orgânico solúvel em ácido; Pi OH⁻, P inorgânico solúvel em álcali; Pt OH⁻, P total solúvel em álcali; Po OH⁻, P orgânico solúvel em álcali; Pot, P orgânico total.

Fonte: Elaboração dos autores.

Com exceção dos solos Bz e O, os demais apresentaram valores de Pol maiores que os de Pil. Nestes solos, 42 e 36 % do Ptl respectivamente ocorreram em formas orgânicas. Nos demais solos, os valores percentuais de Po em relação ao Pi lável ultrapassaram 50 %, com índices de até 91 % do P na forma orgânica lável na TE (Tabela 2). O predomínio de Pol sobre Pil encontrado neste estudo é corroborado pelos resultados obtidos em diversos

trabalhos (BOWMAN; COLE, 1978; THIEN; MYERS, 1992; GUERRA et al., 1996; DUDA et al., 2003; PARTELLI et al., 2009).

Na Tabela 3 são apresentados os dados de produção de matéria seca (MS) e P total acumulado (Pabs) na parte aérea de *Brachiaria decumbens* aos 42 dias após o plantio. Tanto a produção de massa seca, quanto o conteúdo de P acumulado foram maiores nos solos O, BZ, PV e LA.

Tabela 3. Produção de matéria seca (MS) e P total acumulado (Pabs) na parte aérea de *Brachiaria decumbens* aos 42 dias após o plantio.

Classe de Solo	Solo	Parte aérea de <i>B. decumbens</i>	
		MS	Pabs
LATOSSOLO AMARELO	LA	0,38	0,27
NEOSSOLO LITÓLICO	Ra	0,10	0,07
CHERNOSSOLO HÁPLICO	BZ	0,65	0,80
LATOSSOLO VERMELHO	LE	0,04	0,02
NITOSSOLO VERMELHO	TE	0,04	0,02
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PV	0,56	0,49
PLANOSOLO HÁPLICO	PL	0,18	0,16
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LVa	0,11	0,06
ARGISSOLO AMARELO	PA	0,04	0,02
ARGISSOLO VERMELHO	PEe	0,03	0,02
CAMBISSOLO HÁPLICO	Ca	0,18	0,14
CHERNOSSOLO RÊNDZICO	RZ	0,05	0,03
ORGANOSOLO HÁPLICO	O	1,14	1,74
GLEISSOLO HÁPLICO	GPH	0,05	0,02
Média		0,25	0,27
CV (%)		31,16	10,63

Fonte: Elaboração dos autores.

Das 14 ordem de solos estudados, com exceção do O e Bz, houve maior contribuição do Pm e Po para o P biodisponível (Pbio) após a incubação com água (Tabela 4 e Figura 1), como observado por Thien e Myers (1992). Os solos O e BZ, normalmente possuem valores de Pil maiores que Pol (Tabela 2), explicando assim a maior contribuição do Pi para o Pbio. Nos solos O e Bz, respectivamente, 64 e 58 % do Ptl ocorram na forma inorgânica.

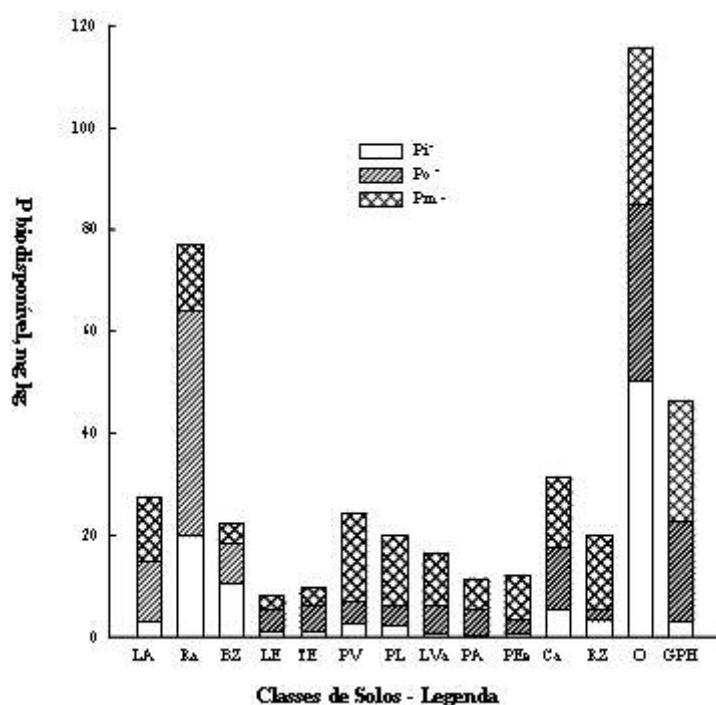
Quanto maior os valores de Pi e Po láveis das amostras de solo maiores os valores de Pol, Pimob,

Pmin e Pbio nas amostras de solos incubadas com água, similar aos resultados obtidos por Thien e Myers (1992). Coeficientes de correlações positivos e significativos foram observados entre o Pil e Pol, com Pimob, Pmin e Pbio (Tabela 5). Estes resultados indicam que em condições de maiores concentrações de Pi pode ocorrer síntese de Po, através da imobilização do Pi pelos microrganismos do solo (REDDY; RAO; TAKKAR, 1999).

Tabela 4. P microbiano (Pm), imobilizado (Pimob), mineralizável (Pmin), total biodisponível (Pbio) e orgânico biodisponível (Pobio) em diferentes classes de solo após a incubação com água.

Legenda	P _o	P _m	P _{imob}	P _{min}	P _{bio}	P _{obio}
LA	11,8	12,7	-1,9	24,6	27,5	26,4
Ra	44,3	13,0	5,4	57,3	77,1	51,9
BZ	7,7	3,9	2,2	11,6	22,2	9,4
LE	4,3	2,6	0,1	6,8	7,9	6,8
TE	5,3	3,3	-0,3	8,6	9,6	8,9
PV	4,3	17,5	-0,2	21,7	24,4	22,0
PL	3,8	13,7	0,5	17,5	19,7	17,0
LVa	5,2	10,5	0,5	15,7	16,5	15,2
PA	5,0	6,1	0,5	11,1	11,4	10,7
PEe	2,4	8,8	0,8	11,3	12,1	10,5
Ca	12,1	13,9	-1,2	26,1	31,4	27,3
RZ	2,4	14,4	1,4	16,7	19,9	15,4
O	34,5	30,8	9,2	65,3	115,7	56,2
GPH	19,5	23,9	-1,0	43,4	46,5	44,4
Média	11,6	12,5	1,1	24,1	31,6	23,0
CV (%)	13,6	29,7	112,8	12,22	8,49	12,21

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 1. Conteúdo de P biodisponível em amostras de diferentes classes de solo submetidas á incubação água.

Fonte: Elaboração dos autores.

A correlação positiva observada entre o Pil e o Pmin nas amostras incubadas com água difere do encontrado por Thien e Myers (1992). Para estes autores, a ausência de correlação entre as variáveis supracitadas, permite sugerir que o Pi contribui pouco para o compartimento Pmin, estando os microrganismos acessando formas não disponíveis de P. Apesar da capacidade dos microrganismos de acessar P adsorvido às partículas inorgânicas (HE; ZHU, 1998), os resultados revelam que o Pi é de fundamental importância para o reservatório Pmin, o qual influencia também o Pol e o Pm.

Para o Pm, só foi verificada correlação positiva com Pi lável do solo (Pil) (Tabela 5). A acumulação de P no tecido microbiano é dependente do P disponível no solo (GALLARDO; SCHLESINGER, 1994) e do P proveniente da adubação fosfática, haja vista a capacidade da biomassa microbiana

utilizar o P contido nos fertilizantes (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982; VAN VEEN et al., 1987; GUERRA et al., 1995; MANHÃES, 1996). Lukito, Kouno e Ando (1998) confirmaram esta hipótese de que maiores teores de P disponível proporcionam maiores valores de Pm. Segundo estes autores, o aumento do Pm dependerá também do tipo de solo, verificando-se maiores valores de Pm em solos com baixa capacidade de adsorção de P. Todavia He e Zhu (1998) demonstraram que os microrganismos do solo podem utilizar de maneira eficiente o P adsorvido aos minerais de carga variável, ocorrendo incorporação do Pi na biomassa microbiana. Para estes autores a produção de ácidos orgânicos pelos microrganismos promove a diminuição do pH, aumentando a liberação de Pi e posterior incorporação deste nutriente no tecido microbiano.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre os compartimentos de P com o Pi e das amostras de solo e P absorvido (Pabs) pela *B. decumbens*.

Compartimentos de P	Pil	Pol	Pabs
Ptl	0,93*	0,9*	0,66*
Pil	1	0,69*	0,85*
Pol	0,69*	1	0,31
Pm	0,61*	0,48	0,56*
Pimob	0,94*	0,67*	0,72*
P-min	0,79*	0,89*	0,53*
Pbio	0,92*	0,85*	0,71*
Pobio	0,72*	0,88*	0,47

Ptl, P total lável; Pil, P inorgânico lável; Pol, P orgânico lável; Pm, P microbiano; Pimob, P imobilizado; Pmin, P mineralizável; Pbio, P biodisponível; Pobio, P orgânico biodisponível.

* Coeficientes de correlação são significativos a 5 %.

Fonte: Elaboração dos autores.

De forma geral, não foi observada correlação entre o P absorvido (Pabs) na *B. decumbens* e o P orgânico lável (Pol) e Po biodisponível (Pobio). Correlações positivas ocorreram entre o Pil e Ptl e Pmin e a acumulação de P (Pabs) por *B. decumbens* (Tabela 5).

O acúmulo de P na planta foi maior nos solos que apresentavam maior conteúdo de P microbiano

(Pm) (Tabela 5). Isto indica que a imobilização de P no tecido microbiano não limitou a acumulação deste nutriente na *B. decumbens*. Paul e Clark (1996) consideraram que a ciclagem do compartimento de Pm é muito rápida. A maior parte do P microbiano do solo (80%) apresenta uma ciclagem rápida em 9 dias como observado por Achat et al. (2010b). Inicialmente ocorreria a imobilização temporária,

mas, a curto prazo, poderia haver a mineralização, liberando P para o crescimento das plantas. Esta hipótese é corroborada neste estudo, pelo fato da imobilização ter causado um efeito positivo na absorção de P por *B. decumbens*. A correlação positiva entre o Pimob e Pabs indica que este compartimento de P pode ser relevante para a nutrição das plantas. Deve-se destacar que a imobilização temporária de P no tecido microbiano é menos prejudicial às culturas do que o processo de adsorção junto aos colóides inorgânicos do solo.

Como preconizado por Thien e Myers (1992), o P biodisponível aqui também constituiu-se um importante índice para a avaliação da fertilidade do solo, pela magnitude apresentada do compartimento. A correlação positiva observada entre o Pbio e a acumulação de P no tecido de *B. decumbens* reforçam esta afirmação (Tabela 5).

Excetuando-se o Pabs, todas as demais variáveis correlacionaram-se positivamente com o C orgânico do solo (Tabela 6), mostrando que os compartimentos lábeis de P são influenciados pelo conteúdo de matéria orgânica do solo. A influência do C sobre os compartimentos de P é compreensível tendo em vista que o mesmo desempenha importante papel na disponibilidade de energia para os microrganismos (PAUL; CLARK, 1996), o que corrobora com a relação positiva entre o P no tecido microbiano e o C do solo. Além disso, tem sido atribuído ao C orgânico importante papel na estabilização do Po nos solos (GREB; OLSEN, 1967; HARRISON, 1987; GUERRA et al., 1996). Desta forma, a manutenção da matéria orgânica do solo possivelmente favorece a biodisponibilidade de P para as culturas.

Tabela 6. Coeficientes de correlação entre os compartimentos de P e características químicas do solo.

Características Químicas	Pm	Pimob	Pmin	Pbio	Pobio	Pabs
C	0,72*	0,64*	0,92*	0,86*	0,92*	0,31
Fed	-0,72*	-0,33	-0,49	-0,45	-0,49	-0,24
Ald	-0,08	0,4	0,47	0,4	0,45	-0,13
Po H ⁺	0,40	0,91*	0,68*	0,81*	0,59*	0,79*
Po OH ⁻	0,16	0,59*	0,67*	0,63*	0,64*	0,11
Pot	0,37	0,91*	0,74*	0,83*	0,66*	0,67*
Pot/Pts	0,73*	0,71*	0,75*	0,79*	0,71*	0,67*
Prem	0,02	-0,22	-0,4	-0,36	-0,4	0,03
Pdis	0,56*	0,72*	0,51	0,62*	0,45	0,59*

Pm, P microbiano; Pimob, P imobilizado; Pmin, P mineralizável; Pbio, P biodisponível; Pobio, P orgânico biodisponível; Pabs, P absorvido; C, carbono orgânico do solo; Fed e Ald, Fe e Al extraído por ditionito-citrato; Po H⁺ e Po OH⁻, P orgânico solúvel em ácido e álcali; Pot, P orgânico total; Pot/Pts, relação entre Pot e P total do solo; Prem, P remanescente; Pdis, P disponível (Mehlich).

* Coeficientes de correlação são significativos a 5 % de probabilidade.

Fonte: Elaboração dos autores.

O P orgânico solúvel em ácido (Po H⁺) correlacionou-se com a maioria das variáveis em estudo, com exceção do Pm. No caso do P orgânico solúvel em solução alcalina não houve relação com Pi lábil e Pm. O Pot correlacionou-se com quase todas as variáveis menos o Pm. A ausência de correlação da fração de Po solúvel em ácido e o Pot do solo com o Pm não era esperada.

Pelo fato do Po solúvel em ácido ser considerado lábil e moderadamente lábil, encontrando-se em formas pouco polimerizadas (BOWMAN, 1989), esperava-se que houvesse correlação positiva com o Pm. Todavia, a inexistência de correlação não significa que maiores teores de Po não acarreta maior assimilação de P pelos microrganismos, tendo em vista a boa correlação obtida entre o Pot e

suas frações (Po H^+ , Po OH^-) com o P immobilizado (Tabela 6).

A capacidade máxima de adsorção de P (b) e o P remanescente (Prem) correlacionaram-se com o Pol ($p < 0,05$). A correlação positiva (0,73) do Pol com a capacidade máxima de adsorção de P (b) e negativa (-0,55) com o Prem, indicam que maiores teores de Pol acarretam diminuição do P em solução. Contudo, considera-se que esta diminuição do P na solução pela possível passagem de Pi para Po seria temporária, pois, com a mineralização do Po (GUERRA et al., 1996; PAUL; CLARK, 1996) poderia haver um reabastecimento do Pi, tornando-o disponível às plantas.

No caso do P disponível (Pdisp), a princípio não houve correlação com o Pol, P^{min} e P^{obio} . A ausência de correlação do Pdisp com o Pol indicaria a inexistência de contribuição do P orgânico lável para o Pi disponível para as plantas. Este resultado contraria o que foi obtido por Guerra et al. (1996), onde observaram correlação positiva do P disponível com o Pol. A ausência de correlação entre Pdisp e Pol pode residir no fato do solo Rz apresentar, possivelmente, maior teor de P ligado ao Ca. Este solo normalmente apresenta alta concentração do íon Ca (DUDA, 2000), fazendo com que boa parte do P encontre-se associado a este elemento. Como o extrator (Mehlich) utilizado para extrair o Pdisp é ácido, ocorre solubilização do P ligado ao Ca, que é pouco disponível (NOVAIS; SMYTH, 1999), fazendo com que haja uma superestimação no teor de Pdisp. Ao excluir da análise a amostra do solo RZ, foi verificada correlação positiva (0,60) entre o Pdisp e o Pol.

Embora pareça que o compartimento lável de Po contribua com a disponibilidade de P, o Po solúvel em ácido (Po H^+) e o total do solo (Pot), ao contrário, mostram-se intimamente relacionados com o P disponível. Neste caso, foram observadas correlações positivas entre o Pdisp e Po H^+ (0,67) e o Pot (0,60), indicando que estas frações orgânicas

de P podem contribuir com a disponibilidade deste elemento para as plantas.

As únicas variáveis que se correlacionaram com o Pabs foram o Po H^+ , o Pot e o Pdisp. A correlação obtida com o Po solúvel em ácido (Po H^+) e o Pot do solo, indica que a fração orgânica de P é uma fonte potencial deste nutriente para as plantas. O Po tem sido considerado de fundamental importância para a nutrição das plantas, tendo em vista que uma boa parte do P do solo encontra-se em forma orgânica (GUERRA et al., 1996; CUNHA et al., 2007; RHEINHEIMER et al., 2008) também confirmado por Fox e Comerford (1992). O mesmo resultado também foi observado por Firsching e Claassen (1996), os quais verificaram que cerca de 75% do P absorvido pode ser derivado da fração orgânica. Estudando a dinâmica de diferentes formas orgânicas e inorgânicas de P no solo, Vázquez, Noellemeyer e Coreemberg (1991) observaram correlação positiva do Pol com o crescimento e acumulação de P pela planta. Eles também encontraram correlação negativa do Po solúvel em NaOH (mais estável) com o acúmulo de P nas plantas, indicando que altos valores de Po na forma mais estável promovem menor disponibilidade de P para as plantas. A correlação positiva observada entre o Po H^+ e o Pabs mostra a importância de se considerar não apenas o Pot mas também os compartimentos mais láveis de Po. Bowman (1989) e Guerra et al. (1996) relatam que os compartimentos mais láveis podem contribuir para o crescimento e acumulação de P pelas plantas.

A relação de Pimob com o Pot reforça a importância dos microrganismos nos diferentes compartimentos de P do solo. O tamanho deste reservatório (Pot) é geralmente maior do que o P disponível normalmente avaliado em análises de solo. As correlações positivas obtidas entre o Po H^+ , Pot e Pabs por *B. decumbens*, indicam a importância do reservatório orgânico como fonte fornecedora de P para as plantas.

Conclusões

Os teores de Pol e Pm foram mais elevados que o Pi lábil na maioria das amostras de solos.

O acúmulo de P na parte aérea da *Brachiaria decumbens* mostrou-se positivamente correlacionada com o reservatório biodisponível deste elemento.

Solos com teores mais elevados de Po H⁺ e Pot, proporcionaram maior acumulação de P pela *Brachiaria decumbens*.

Referências

- ACHAT, D. L.; BAKKERA, M. R.; ZELLERB, B.; PELLERINC, S.; BIENAIMÉ, S.; MOREL, C. Long-term organic phosphorus mineralization in Spodosols under forests and its relation to carbon and nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1479-1490, 2010a.
- ACHAT, D. L.; MOREL, C.; BAKKER, M. R.; AUGUSTO, L. PELLERIN, S.; BUDYNEK, A. G.; GONZALEZ, M. Assessing turnover of microbial biomass phosphorus: combination of an isotopic dilution method with a mass balance model. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 42, n. 12, p. 2231-2240, 2010b.
- ADEPETU, J. A.; COREY, R. B. Organic phosphorus as a predictor of plant available phosphorus in soils of Southern Nigeria. *Soil Science*, Madison, v. 122, n. 3, p. 159-164, 1976.
- ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios de casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 14, n. 14, p. 49-55, 1990.
- BONFIM, E. M. S.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 281-288, 2004.
- BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of American Journal*, Madison v. 53, n. 2, p. 362-366, 1989.
- BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Science*, Madison, v. 125, n. 1, p. 49-54, 1978.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 113, n. 113, p. 73-85, 1974.
- BROGGI, F.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 247-252, 2010.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.
- BÜNEMANNA, E. K.; OBERSONA, A.; LIEBISCHA, F.; KELLERA, F.; ANNAHEIMA, K. E.; HUGUENIN-ELIEB, O.; FROSSARDA, E. Rapid microbial phosphorus immobilization dominates gross phosphorus fluxes in a grassland soil with low inorganic phosphorus availability. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 51, n. 1, p. 84-95, 2012.
- CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 667-672, 2007.
- DUDA, G. P. C. *Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo*. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effectson C, N and P of the microbial biomass. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 2009. 627 p.
- FIRSCHING, B. M.; CLAASSEN, N. Root phosphatase activity and soil organic phosphorus utilization by norway spruce [Picea abies (L.), Karst.]. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 28, n. 10, p. 1417-1424, 1996.
- FOX, T. R. MILLER, B. W.; RUBILAR, R. STAPE, J. L.; ALBAUGH, T. J. *Phosphorus nutrition of forest plantations: the role of inorganic and organic phosphorus*. Phosphorus in Action. Springer Berlin Heidelberg, 2011. 338 p.

- FOX, T. R.; COMERFORD, N. B. Rhizosphere phosphatase activity and phosphatase hydrolyzable organic phosphorus in two forested spodosols. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 24, n. 6, p. 579-583, 1992.
- GALLARDO, A.; SCHLESINGER, W. H. Factor limiting microbial biomass in the mineral soil and forest floor of warm temperate forest. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 26, n. 10, p. 1409-1415, 1994.
- GREB, B. W.; OLSEN, S. R. Organic phosphorus in calcareous Colorado soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 31, n. 1, p. 85-89, 1967.
- GUERRA, J. G. M. *Produção sazonal de Brachiaria decumbens Stapf. conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural*. 1993. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.
- GUERRA, J. G. M.; FONSECA, M. C.; ALMEIDA, D. L. de; DE-POLLI, H.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com Brachiaria decumbens Stapf. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 30, n. 4, p. 543-551, 1995.
- HARRISON, A. F. Labile organic phosphorus mineralization in relationship to soil properties. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 14, n. 4, p. 343-351, 1982.
- _____. *Soil organic phosphorus. A review of world literature*. Wallingford: CAB International, 1987. 257 p.
- HE, Z.; ZHU, J. Microbial utilization and transformation of phosphate adsorbed by variable charge minerals. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 30, n. 7, p. 917-923, 1998.
- 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 Science Society of American Journal*, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, 1982.
- ISLAM, A.; MANDAL, R.; OSMAN, K. T. Direct absorption of organic phosphate by rice and jute plants. *Plant and Soil*, The Hague, v. 53, n. 1-2, p. 49-54, 1979.
- JUMA, N. G.; TABATABAI, M. A. Distribution of phosphomonoesterases in soils. *Soil Science*, Madison, v. 125, n. 2, p. 101-108, 1978.
- LUKITO, H. P.; KOUNO, K.; ANDO, T. Phosphorus requirements of microbial biomass in a regosol and an andosol. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 30, n. 7, p. 865-872, 1998.
- MACLAUGHLIN, M. J.; ALSTON, A. M.; MARTIN, J. K. Measurement of phosphorus in the soil microbial biomass: a modified procedure for field soils. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 18, n. 4, p. 437-443, 1986.
- MANHÃES, M. S. *Fósforo em dois solos cultivados com cana-de-açúcar (Saccharum spp) colhida em sistemas de cana-cruda e queimada*. 1996. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- MCGILL, W. B.; COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma*, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 267-286, 1981.
- NEGRIN, M. A.; GONZÁLEZ-CARCEDO, S.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M. P fractionation in sodium bicarbonate extracts of andic soils. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 27, n. 6, p. 761-766, 1995.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- PARTELLI, F. L.; BUSATO, J. G.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P. A. P.; CANELLAS, L. P. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2065-2072, 2009.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. *Soil microbiology and biochemistry*. Califórnia: Academic Press, 1996. 340 p.
- REDDY, D. D.; RAO, A. S.; TAKKAR, P. N. Effects of repeated manure and fertilizer phosphorus additions on soil phosphorus dynamics under a soybean-wheat rotation. *Biology and Fertility of Soils*, Germany, v. 25, n. 2, p. 150-155, 1999.
- RHEINHEIMER, D.; CASSOL, P. C.; KAMINSKI, J.; ANGNINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 2008. p. 139-157.
- STEVENSON, F. J. *Humus chemistry*. New York: John Wiley, 1994. 496 p.
- TARAFDAR, J. C.; CLAASSEN, N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. *Biology and Fertility of Soils*, Germany, v. 5, n. 4, p. 308-312, 1988.

- THIEN, S. J.; MYERS, R. Determination of bioavailable phosphorus in soil. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 56, n. 3, p. 814-818, 1992.
- TIECHER, T. D. R.; SANTOS, D. F. dos; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 57-67, 2012.
- TISSSEN, J.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 48, n. 4, p. 853-858, 1984.
- VAN VEEN, J. A.; LADD, J. N.; MARTIN, J. K.; AMATO, M. Turnover of carbon, nitrogen and phosphorus through the microbial biomass in soils incubated with ¹⁴C, ¹⁵N and ³²P-labelled bacterial cells. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 19, n. 1, p. 559-565, 1987.
- VÁZQUEZ, M. E.; NOELLEMEYER, E.; COREMBERG, P. I. The dynamics of different organic and inorganic phosphorus fractions in soils from the south of Santa Fe province, Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 22, n. 11-12, p. 1151-1163, 1991.
- ZOU, X.; BINKLEY, D.; DOXTADER, K. G. A new method for estimating gross phosphorus mineralization and immobilization rates in soils. *Plant and Soil*, The Hague, v. 147, n. 2, p. 243-250, 1992.