

Efeito de sistemas de culturas e fontes de nutrientes no balanço de fósforo no solo.

Felipe Otávio Brito Pavan⁽¹⁾; Caio José Fantinelli⁽¹⁾; Rafael Aparecido Torue Bonetti⁽¹⁾; Allex Barbosa Cegatte⁽¹⁾; Fábio Steiner⁽²⁾; Claudinei Paulo de Lima⁽²⁾.

⁽¹⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia das Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO. Ourinhos, São Paulo. E-mail: felipinho_owns@hotmail.com. ⁽²⁾ Professor do Curso de Agronomia das Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO. Ourinhos, São Paulo. E-mail: fsteiner_agro@yahoo.com.br.

RESUMO: O balanço de nutrientes no sistema solo-planta tem sido considerado um importante indicador da sustentabilidade do uso agrícola do solo ao longo do tempo. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de dois sistemas de culturas, com e sem rotação de plantas de cobertura, associados a três fontes de nutrientes (mineral, orgânica e mineral+orgânica) no balanço de fósforo no solo em sistema de plantio direto. O experimento foi realizado em Marechal Cândido Rondon, PR, de 2006 a 2008, em um Latossolo Vermelho. A sequência de culturas no sistema em rotação com plantas de cobertura foi aveia + ervilhaca + nabo/milho/guandu/trigo/mucuna + braquiária + crotalária, e no sistema em sucessão foi trigo/milho/trigo/soja. As adubações, orgânica e mineral+orgânica consistiram, respectivamente, da aplicação de esterco e de esterco combinado com fertilizante mineral. O balanço de P no sistema solo-planta foi avaliado, após o segundo ano de experimento, na camada de 0,0-0,40 m de profundidade. O efeito residual e acumulativo do uso de esterco resultou em maior quantidade de P no solo, por deixar este nutriente menos sujeito à reação de adsorção no solo após sua liberação dos compostos orgânicos. Os sistemas de sucessão e rotação de culturas associados à aplicação fertilizante mineral e esterco de forma isolada ou combinada resultaram em saldo negativo do balanço de P no sistema solo-planta em curto prazo, representando uma ameaça para a sustentabilidade do sistema de produção em longo prazo, devido o esgotamento das reservas de nutrientes do solo.

Termos de indexação: adubação orgânica, plantas de cobertura, plantio direto.

INTRODUÇÃO

A utilização de rotação de culturas e o uso de esterco pode conferir sustentabilidade ao sistema de produção agrícola, por melhorar a qualidade do solo e aumentar a eficiência de uso de nutrientes, através do processo de ciclagem do nutriente (Boer et al., 2007; Calonego & Rosolem, 2008).

O balanço de nutrientes no sistema solo-planta vem sendo cada vez mais utilizado para avaliar os efeitos dos sistemas de produção, a médio e longo

prazo. A diferença entre as aplicações de fertilizantes e a exportação nos grãos, indica o grau de aumento ou redução do teor do nutriente no solo e, quando as saídas de um nutriente em particular são maiores que as entradas na lavoura, a condição é de insustentabilidade. Assim, para o adequado manejo da adubação fosfatada, é importante estimar o balanço deste nutriente no sistema solo-planta. Isso porque a aplicação insuficiente de adubo pode levar a balanços negativos, resultando na diminuição da fertilidade do solo que afeta a produtividade e a rentabilidade dos recursos do sistema, além de levar a uma degradação o solo. Por outro lado, a aplicação excessiva de adubo leva a balanços excessivamente positivo, e resultam em baixa eficiência de uso de nutrientes e baixo desempenho econômico (Baligar et al., 2001), além de intensificar as perdas por erosão (Bertol et al., 2010). Diversos estudos indicam haver um balanço negativo de nutrientes representando uma ameaça para a sustentabilidade do sistema de produção, devido o esgotamento das reservas dos nutrientes no solo.

Este estudo teve como objetivo de avaliar o efeito da rotação de culturas de cobertura e de fontes de nutrientes (mineral, orgânica e mineral+ orgânica) no balanço de fósforo no solo em plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Marechal Cândido Rondon, PR (24°31' S, 54° 01' W e 420 m altitude), em Latossolo Vermelho de textura argilosa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, invernos com geadas pouco frequentes, sem estação seca definida, com precipitação e temperatura média anual de 1.500 mm e 21,4 °C, respectivamente.

A área experimental havia sido anteriormente cultivada com soja/trigo e soja/milho em sistema de semeadura direta durante seis anos. Antes da instalação do experimento, coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m e os resultados da análise química são apresentados na **Tabela 1**.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por

dois sistemas de culturas: (1) sucessão: trigo/milho/trigo/soja e (2) rotação: aveia + ervilhaca + nabo/milho/guandu/trigo/mucuna + braquiária + crotalária e de três fontes de nutrientes (mineral, orgânica e mineral+orgânica). Cada parcela foi constituída por 12,0 m de comprimento por 7,4 m de largura.

A adubação das culturas destinadas à produção de grãos (trigo, milho e soja) foi realizada segundo a necessidade da cultura (Raij et al., 1997), mediante análise do solo. As adubações constituíram da aplicação de fertilizante mineral e esterco animal de forma isolada e combinada, obtendo-se assim as três fontes de nutrientes: mineral, orgânica e mineral+orgânica, respectivamente. As quantidades e as fontes de fertilizantes utilizados em cada cultivo são mostradas na **Tabela 2**. As culturas de cobertura não receberam aplicação de fertilizantes.

A produção de matéria seca dos consórcios foi avaliada em setembro de 2006 e em março de 2008, coletando-se três subamostras por parcela na área de um quadrado de 0,50 x 0,50 m. Em seguida, o material coletado foi seco em estufa de circulação de ar a 60°C por 72 h, pesado, moído e submetido à análise para a determinação do teor de fósforo (P). A quantidade de P acumulado pelas plantas foi calculada a partir da quantidade de matéria seca produzida e o respectivo teor na matéria seca.

Em março de 2007 e de 2008, após a colheita e/ou manejo das culturas de verão, amostras de solo foram coletadas na camada de 0,0-0,40 m, com trado tipo caneca em cinco pontos por parcela. Essas amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 2,0 mm e submetidas à determinação do teor de P (Mehlich-1). Os teores de P no solo, em mg dm⁻³, foram transformados em kg ha⁻¹, pela multiplicação dos seus valores pelo volume de solo compreendido na camada de 0,0-0,4 m de 1 ha (4 x 10³ m³).

O balanço de P no sistema solo-planta (kg ha⁻¹ ano⁻¹) foi calculado, após o segundo ano de condução do experimento, pela diferença entre a quantidade total do nutriente adicionada na adubação (kg ha⁻¹) e a soma da alteração do estoque de P na camada de 0,0 a 0,40 m de solo (kg ha⁻¹) e da quantidade total exportada pelos grãos (kg ha⁻¹), dividido pelo período avaliado (anos), conforme as seguintes equações:

$$\text{Balanço de P} = [P_{\text{ADUBAÇÃO}} + (P_{\text{SOLO INICIAL}} - P_{\text{SOLO FINAL}}) - P_{\text{EXPORTADO}}] / \text{período avaliado}$$

A quantidade de P exportada pelos grãos de trigo (2007 e 2008), milho (2006/07) e soja (2008/09) foi estimada com base nos teores médios de nutrientes nos grãos adotado no Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de São Paulo (Raij et al., 1997) e da respectiva produtividade de grãos obtida (**Tabela 3**). Para cada tonelada de grãos de trigo,

milho e soja produzida são exportados cerca de 5; 4 e 6 kg de P, respectivamente.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e, quando significativas, para cada ano de avaliação, as médias dos sistemas de culturas foram comparadas pelo teste F, e das fontes foram comparadas pelo teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca e de grãos

A quantidade de matéria seca das culturas de cobertura deixada na superfície do solo, por ocasião do manejo, foi de 5.184±514 kg ha⁻¹ para o consórcio entre aveia + ervilhaca + nabo e, de 10.296±1.030 kg ha⁻¹ para o consórcio entre mucuna + braquiária + crotalária. A quantidade de P acumulada na parte aérea das culturas de cobertura foi 36±4 kg ha⁻¹ para o consórcio entre aveia + ervilhaca + nabo e, de 41±5 kg ha⁻¹ para o consórcio entre mucuna + braquiária + crotalária.

A produtividade de trigo (safras 2006 e 2007), milho (safra 2006/07) e soja (safra 2008/09) são mostradas na **Tabela 3**.

Estoque e balanço de fósforo no solo

Os sistemas de culturas não afetaram o estoque de P no solo no primeiro ano (**Figura 1A**). No segundo ano, o maior estoque de P no solo, foi no sistema de sucessão de culturas e, pode ser atribuída ao efeito residual da adubação das culturas destinadas a produção de grãos (**Figura 1B**). No sistema de rotação, as culturas de cobertura foram adubadas resultando em menor disponibilidade de P no solo, em curto prazo. Além disso, o menor estoque de P no solo em rotação de culturas também deve-se ao fato do P extraído pelas plantas encontrar-se retido nos resíduos vegetais deixados na superfície do solo. Todavia, este P é disponibilizado para a cultura subsequente após a decomposição dos resíduos vegetais remanescentes no solo. A taxa de disponibilização de P dos resíduos vegetais é semelhante à taxa de decomposição de matéria orgânica (Boer et al., 2007).

O estoque de P no solo com rotação de culturas foi superior na adubação mineral em comparação com a adubação orgânica e mineral + orgânica, enquanto que na sucessão de culturas não houve alteração (**Figura 1A**). O menor conteúdo de P no solo, em curto prazo, com a aplicação de esterco (adubação orgânica e mineral+orgânica) em comparação a aplicação de fertilizante mineral pode ser atribuído à liberação gradual do P das fontes orgânicas utilizadas.

A ausência de efeito das fontes de nutrientes no estoque de P no solo no sistema de sucessão de

culturas (**Figura 1A**) deve-se ao efeito residual da adubação do trigo cultivado anteriormente. No segundo ano de experimento, a maior disponibilidade de P com aplicação de esterco (adubação orgânica e mineral+orgânica) no sistema de sucessão (**Figura 1B**) foi atribuído ao efeito residual e da liberação gradual do P das fontes orgânicas, deixando este nutriente menos sujeito à reação de adsorção no solo. A adubação orgânica reduz a adsorção/precipitação de P no solo por incrementar o teor de matéria orgânica, aumentando sua disponibilidade no solo (Souza et al., 2006). Por sua vez, se o P for imediatamente disponibilizado no solo, como ocorre com os fertilizantes minerais, este pode ser adsorvido ao solo, o que diminui sua disponibilidade. Quando foi realizada rotação de culturas, as fontes de nutrientes não influenciaram na disponibilidade de P no solo (**Figura 1B**).

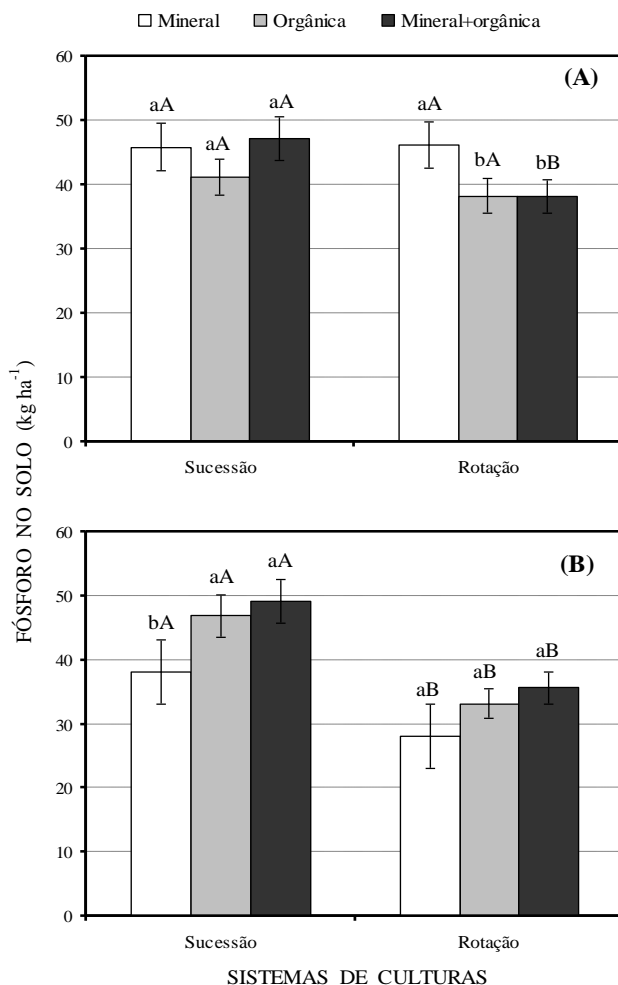


Figura 1. Quantidade de fósforo na camada de 0,0-0,40 m de solo no primeiro – (A) e no segundo – (B) ano de experimento com diferentes sistemas de culturas e fontes de nutrientes. Barra seguida da mesma letra, minúsculas dentro de cada sistema e maiúsculas para cada fonte, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

O saldo do balanço de P no sistema solo-planta foi negativo para todos os tratamentos (**Figura 2**), indicando que o P-orgânico do solo contribui para o suprimento de P às plantas. A contribuição de formas orgânicas de P às plantas comumente são reportadas na literatura, mesmo quando há adição de fertilizante fosfatado (Gatiboni et al., 2005). Em solos com baixos teores de P disponível e com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, o P-orgânico é a principal fonte deste nutriente às plantas. O maior déficit de P no sistema solo-planta foi obtido no sistema de sucessão de culturas, com valores variando de -7 a -21 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P, para a adubação mineral e orgânica, respectivamente. No sistema de rotação de culturas o balanço de P variou entre -3 e -4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P, independentemente da fonte de nutrientes (**Figura 2**).

CONCLUSÕES

O efeito residual e acumulativo do uso de esterco resultou em maior quantidade de P no solo, por deixar este nutriente menos sujeito à reação de adsorção no solo após sua liberação dos compostos orgânicos.

Os sistemas de sucessão e rotação de culturas associados à aplicação fertilizante mineral e esterco de forma isolada ou combinada resultaram em saldo negativo do balanço de P no sistema solo-planta em curto prazo.

REFERÊNCIAS

- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. & HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:921-950, 2001.
- BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N. & LANA, M.C. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. *Scientia Agricola*, 67:71-77, 2010.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:1269-1276, 2007.
- CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1399-1407, 2008.
- GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, A.F. C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. & LIMA, M.A.S. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successively cropped soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36:2625-2640, 2005.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; TORRES, P.R.F. & BALIZA, D.P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:975-983, 2006.

Tabela 1. Características químicas e densidade do solo, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade antes da instalação do experimento

Camada (m)	pH	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	H + Al	Ca	Mg (mmol _c dm ⁻³)	K	CTC	V (%)	Ds (kg dm ⁻³)
0,0-0,10	4,8	28,2	16,8	62	30	15	3,6	110	44	1,31
0,10-0,20	4,7	25,3	6,8	65	27	15	2,5	110	41	1,35
0,20-0,40	4,6	18,9	2,7	68	23	13	1,3	105	35	1,30

pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, relação solo:solução (1:2,5). MO: matéria orgânica, método Walkley – Black. P e K extraído por Mehlich-1. Ca e Mg extraído pela solução KCl 1 mol L⁻¹. Knt: K não-trocável, obtido pela diferença entre K extraído com HNO₃ 1 mol L⁻¹ fervente e o K trocável extraído por Mehlich-1. Ds: densidade do solo, método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

Tabela 2. Fontes e doses de fertilizantes aplicados em cada um dos cultivos durante a condução do estudo

Fonte de adubação	Cultura/ano			
	Trigo (2006)	Milho (2006/07)	Trigo (2007)	Soja (2007/08)
----- Quantidade e fontes aplicadas -----				
Mineral ¹	50-20-30 kg ha ⁻¹	120-50-30 kg ha ⁻¹	50-10-30 kg ha ⁻¹	0-60-40 kg ha ⁻¹
Orgânica	25 m ³ ha ⁻¹ dejetos de suíno	38 m ³ ha ⁻¹ dejetos de suíno	2,94 Mg ha ⁻¹ esterco de poedeira	4,5 Mg ha ⁻¹ composto
Mineral+orgânica ¹	25 m ³ ha ⁻¹ dejetos de suíno + 0-5-12 kg ha ⁻¹	38 m ³ ha ⁻¹ dejetos de suíno + 0-2-5 kg ha ⁻¹	2,94 Mg ha ⁻¹ esterco de poedeira + 9-0-19 kg ha ⁻¹	4,5 Mg ha ⁻¹ composto + 0-51-0 kg ha ⁻¹

¹ Doses correspondentes a N-P₂O₅-K₂O e aplicadas na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente.

Tabela 3. Produtividade de grãos de trigo, milho e soja em diferentes sistemas de culturas e fontes de nutrientes

Sistema de culturas	Fonte de nutrientes	Cultura (safra)			
		Trigo (2007)	Milho (2007/08)	Trigo (2008)	Soja (2008/09)
Sucessão ⁽¹⁾	Mineral	1.655 a	7.369 a	1.195 a	3.743 a
	Orgânica	1.599 a	6.577 b	1.062 a	3.661 a
	Mineral+orgânica	1.684 a	6.515 b	1.238 a	3.864 a
	Média	1.645	6.820 A	1.165 A	3.789
Rotação ⁽²⁾	Mineral	-	7.185 a	1.041 a	-
	Orgânica	-	6.094 b	1.008 a	-
	Mineral+orgânica	-	5.260 b	1.102 a	-
	Média	-	6.180 B	1.050 A	-

⁽¹⁾ Sucessão: trigo/milho/trigo/soja. ⁽²⁾ Rotação: aveia + ervilhaca + nabo /milho/guandu/ trigo/mucuna + braquiária + crotalária. Média seguida da mesma letra, minúsculas para as fontes de nutrientes e maiúsculas para os sistemas de culturas não diferem entre si, respectivamente, pelo teste de Tukey e teste F, ambos a 5% de probabilidade.

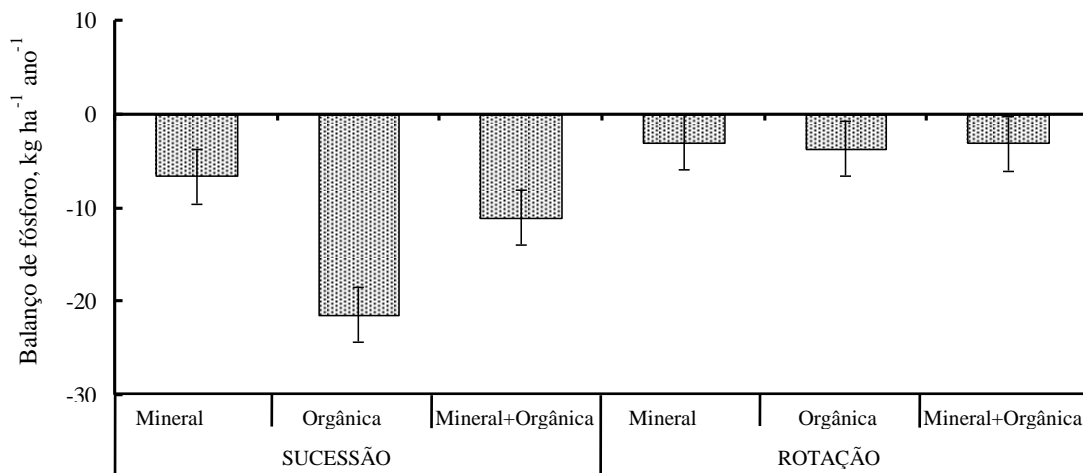


Figure 2. Balanço de fósforo (P) no sistema solo-planta, até a camada de 0,40 m, em sistemas de culturas e fontes de nutrientes. Sucessão: trigo/milho/trigo/soja. Rotação: aveia + ervilhaca + nabo /milho/guandu/trigo/mucuna + braquiária + crotalária.