



Sistemas de cultivo e o legado do fósforo em solo de Cerrado: reavaliação da disponibilidade de P por extratores⁽¹⁾

Marcos Rodrigues⁽²⁾; Paulo Sergio Pavinato⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação AGRISUS

⁽²⁾ Estudante de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo (ESALQ/USP); Piracicaba, SP; rodrigues.m@usp.br; ⁽³⁾ Professor, Departamento de Ciência do Solo; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo (ESALQ/USP); Piracicaba, SP.

RESUMO: O plantio direto vem proporcionando uma nova dinâmica na fertilidade do solo, sobretudo na disponibilidade de fósforo (P). Objetivou-se avaliar a disponibilidade de P por extratores em distintas profundidades, em solo manejado por longo período nos sistemas de preparo convencional (SPC) e Plantio Direto (SPD), no bioma Cerrado. Os tratamentos consistiram nos manejos SPC e o SPD, e as profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, num Latossolo Vermelho de textura argilosa. Foram avaliados o P-disponível pelos métodos da Resina, Mehlich1 e Mehlich3, além do P-lábil do fracionamento de Hedley. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias, e ainda foram feitas correlações lineares de Pearson entre os teores de P determinados pelos extratores e o P-lábil do fracionamento. A adoção do SPD resultou em maior teor de P-disponível na camada mais superficial quando comparado com o SPC, evidenciando o fato de o SPD criar uma zona de maior fertilidade na camada superficial. Verificou-se correlação positiva e significativa apenas dos métodos Resina e Mehlich1 com o P-lábil do solo. Para a resina, a correlação com o P-lábil, embora significativa, apresentou baixo coeficiente de determinação (0,44), enquanto que a correlação do Mehlich1 com o P-lábil apresentou elevado coeficiente de determinação (0,94). A determinação do P disponível pelo método Mehlich1 apresenta maior relação com o P-lábil do solo. A adoção do SPD resulta em distinção nos resultados da fertilidade do solo com a profundidade, devendo tal aspecto ser levado em consideração nas amostragens.

Termos de indexação: Resina, Mehlich, Profundidade de amostragem.

INTRODUÇÃO

Já é realidade no Brasil Central a mudança no sistema de produção de grãos, passando do Sistema de Preparo Convencional (SPC) para o Sistema de Plantio Direto (SPD), devido a inúmeras vantagens do manejo conservacionista, como, por exemplo, redução dos riscos de erosão, maior atividade biológica e matéria orgânica no solo,

melhor estrutura, além de incrementos na fertilidade (Embrapa, 2005), proporcionando assim nova dinâmica de fertilidade do solo. Uma importante alteração é o gradiente de concentração de nutrientes no perfil (Nunes et al., 2011), devido à não mobilização de fertilizantes e corretivos aplicados nas camadas superficiais, bem como à ciclagem de nutrientes.

Uma vez que o P apresenta baixa mobilidade e baixíssima disponibilidade nos solos oxidicos (Novais & Smyth, 1999), tem-se evidenciado no SPD a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, inclusive P (Rheinheimer et al., 2008). Esse comportamento é consequência da adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial do solo, ausência de revolvimento do solo e diminuição da taxa de erosão.

A avaliação do P disponível de um solo tem sido feita com extratores com características diversas. As principais reações pelas quais o P é removido da fase sólida do solo por soluções extratoras foram classificadas por Kamprath & Watson (1980) em quatro, sendo elas: 1) Ação solvente de ácidos fortes diluídos, com pH de 2,0 a 3,0, atuando na dissolução de fosfatos de cálcio (fosfatos de ferro e alumínio também são solubilizados, porém em menor grau); 2) Substituição de ânions: fosfatos adsorvidos podem ser substituídos por outros ânions, como sulfato, bicarbonato, citrato, lactato e acetato, por meio de troca de ligações; 3) Complexação de cátions combinados com fósforo: O íon mais usado é o fluoreto (F), muito eficiente na complexação de alumínio, liberando, assim o P ligado ao metal (P presente como fosfato dicálcio também é extraído); 4) Hidrólise de cátions combinados com fósforo: Em soluções de pH mais elevado, o P ligado a Fe e Al é liberado por hidrólise dos metais. A solução de bicarbonato de sódio a pH 8,5 é eficaz na extração de P-Al e P-Ca.

Os extratores Bray-1, Olsen e Mehlich3 são amplamente utilizados em vários países do mundo (Novais & Smyth, 1999). No Brasil, destaca-se o uso do Mehlich1 (duplo ácido ou Carolina do Norte, mistura de 0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,05 mol L⁻¹ de HCl). Em São Paulo usa-se a Resina (Raij et al.



2001), tendo como principais vantagens a baixa sensibilidade à capacidade tampão de P nos solos, contrariamente ao Mehlich1 demais extratores ácidos, os quais sofrem profundas alterações em sua capacidade de extração com a variação dessa propriedade (Novais & Smyth, 1999).

Paralelamente, as técnicas de fracionamento de P visam a quantificação de todas as formas com que o elemento se apresenta no solo. Assume-se que o P-lábil do solo está representado pelas extrações sequenciais de P-Resina (P inorgânico da solução e fracamente adsorvido) somado ao P inorgânico e orgânico extraídos pelo NaHCO_3 a pH 8,5 (Cross & Schlesinger, 1995).

A adoção de sistemas de manejo que busquem o não revolvimento do solo acarreta numa nova distribuição do elemento no perfil, tornando-se necessária a preocupação com a profundidade de amostragem para levantamentos de fertilidade do solo. Em função disso, objetivou-se avaliar as modificações promovidas pelos manejos Convencional e Plantio Direto, na disponibilidade de P por diferentes extratores, em profundidades distintas, num Latossolo Vermelho argiloso. Ainda buscou-se correlacionar os teores de P extraídos pelos métodos com o P-lábil determinado pelo fracionamento de Hedley.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consistiu na avaliação de um experimento instalado em Sapezal - MT ($13^{\circ}56'33''$ S e $58^{\circ}53'43''$ O), num Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, em área experimental pertencente à empresa SLC Agrícola S.A, em estudo de longo período sob sistemas de manejo do solo: Sistema de Preparo Convencional (SPC) e sistema plantio direto (SPD). O SPC consistiu no preparo do solo através de duas operações de gradagem e o SPD sem o revolvimento do solo.

A abertura do Cerrado se deu em 1997, com cultivo de soja (safra 1997/98) e, nos anos seguintes (1999/00 e 2000/01) foi cultivado algodão e soja, respectivamente, utilizando-se o mesmo preparo do solo. A partir de 2001/02 se deu a instalação do experimento com a diferenciação dos manejos de solo na área.

Ao longo dos anos procedeu-se a rotação de cultivos de soja e algodão, durante as safras de verão, procedendo-se o cultivo de milho na safrinha em todos os anos. Neste período o aporte anual de P foi em média de $102,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 ($44,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P).

Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. O experimento foi instalado no delineamento de blocos

ao acaso, com parcelas subdivididas para as profundidades de amostragem, com quatro repetições, totalizando 24 parcelas.

Nas profundidades amostradas foram realizadas as caracterizações química e granulométrica do solo, no Laboratório de Química do Solo da ESALQ/USP (Piracicaba – SP). O teor de argila, foi determinado segundo Embrapa (1997), sendo ainda determinados os atributos químicos de fertilidade segundo Raij et al. (2001) pH (CaCl_2), CTC (calculada após a determinação dos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis, além do H+Al pelo método do SMP). Calculou-se ainda a saturação por bases (V%) e os resultados podem ser observados na **Tabela 1**.

O presente estudo consistiu-se na avaliação da disponibilidade de P pelos métodos de extração da Resina trocadora de íons (Raij et al., 2001), Mehlich1 e Mehlich3 (Embrapa, 1997).

Visando correlacionar o P disponível com o P-lábil do solo, esta foi determinada pelo Fracionamento de P de acordo com metodologia proposta por Hedley et al. (1982). As frações P-resina e os teores inorgânicos (Pi) e orgânicos (Po) de P extraídos com NaHCO_3 foram somados, compondo-se dessa maneira o P-lábil do solo determinado pelo fracionamento (Cross & Schlesinger, 1995).

Tabela 1 – Atributos químicos e granulometria do solo em áreas sob sistemas de preparo Convencional (SPC) e Plantio Direto (SPD). Sapezal/MT.

Prof. Cm	Manejo	pH CaCl_2	CTC $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	V %	Argila g kg^{-1}
0 – 5	SPC	4,9	11,04	42,2	452
	SPD	5,2	8,33	62,3	
5 – 10	SPC	4,7	8,86	38,2	
	SPD	4,8	8,60	37,2	
10 – 20	SPC	4,8	9,59	44,5	
	SPD	4,6	7,89	28,1	

SPC: sistema de preparo convencional;
SPD: sistema plantio direto.

Os resultados encontrados para os métodos de extração de P analisados (P-Resina, P-Mehlich1 e P-Mehlich3), além do P-lábil do fracionamento de P, foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste da diferença mínima significativa (LSD, $p \leq 0,05$). Ainda foram feitas correlações lineares de Pearson entre os teores de P disponível pelos métodos e o P-lábil quantificado pelo fracionamento do fósforo no solo.



Todas as análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do programa estatístico SAS v. 9.2 (SAS, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para P-lábil, P-Resina, P-Mehlich1 e P-Mehlich3 podem ser observados na **Tabela 2**. Verificou-se interação significativa entre os sistemas de manejo e as profundidades de amostragem para todos os extratores de P, exceto o Mehlich3. Quando analisados os teores de P disponível pelo extrator Mehlich3 não houve diferença significativa entre os manejos do solo nem entre as profundidades de amostragem.

Tabela 2. Distribuição do Fósforo lábil (P-Lábil) e dos teores disponíveis de P avaliados por extratores para distintos manejos num Latossolo Vermelho do Cerrado.

Extratores	Profundidade (cm)	Manejos		Média	CV
		SPD ⁽¹⁾	SPC ⁽²⁾		
---- mg kg ⁻¹ ----					
P-Lábil	0 – 5	234,3 Aa	75,5 Bb	154,9	6,3
	5 – 10	123,3 Ab	85,8 Ba	104,6	
	10 – 20	101,5 Ac	93,5 Aa	97,5	
P-Resina	0 – 5	42,2 Aa	30,3 Ab	36,3	14,8
	5 – 10	19,3 Bb	33,6 Aa	26,5	
	10 – 20	19,4 Bb	35,6 Aa	27,5	
P-Mehlich1	0 – 5	13,9 Aa	6,1 Ba	10,0	10,6
	5 – 10	8,1 Ab	6,0 Ba	7,1	
	10 – 20	7,0 Ab	5,4 Ba	6,2	
P-Mehlich3	0 – 5	18,3 ^{ns}	17,6 ^{ns}	18,0	14,7
	5 – 10	16,2	17,3	16,8	
	10 – 20	19,4	17,7	18,6	

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) ao nível de significância de 5%.

⁽¹⁾ SPD: Sistema Plantio Direto; ⁽²⁾ SPC: Sistema de Preparo Convencional.

De modo geral, Comparando-se o SPC com o SPD (**Tabela 2**), verifica-se nas camadas superficiais (0 - 5 e 5 - 10 cm) que os teores de P-lábil e de P-Mehlich1 são maiores com a adoção do SPD. Quando analisado pela Resina, os teores de P disponível do solo são maiores no SPD apenas na camada de 0 - 5 cm.

Os resultados encontrados na camada de 10 - 20 cm mostram uma diferença muito pequena do SPD para o SPC no P-lábil do solo, evidenciando que de fato o SPD cria uma zona de maior fertilidade nas camadas superficiais, entretanto não se observando tal diferença em maiores profundidades no solo. No entanto, quando analisados os teores de P pelos

extratores, A Resina indicou um teor de P maior na camada em questão para o SPC, enquanto que o Mehlich1 mostrou maior teor de P-disponível no SPD.

Os resultados encontrados para maiores teores de P-disponível no SPD podem ser atribuídos à reciclagem do nutriente promovida pelos cultivos sucessivos, resultando na deposição de P na camada superficial, aliado ao não revolvimento do solo, o qual favorece não somente a manutenção do P em formas orgânicas não passíveis de adsorção específica a fase mineral do solo, mas também gera uma zona de alta fertilidade e biodisponibilidade do elemento, concentrando-o nestas camadas mais superficiais no solo. Nunes et al. (2011) avaliando a distribuição de P no perfil do solo em áreas manejadas sob SPC e SPD, encontraram resultados semelhantes para os teores disponíveis de P em Latossolo muito argiloso, onde os autores obtiveram maiores teores de P-disponível nas camadas superficiais para o SPD, sendo tal diferença muito menor e mais uniforme no SPC. Os autores também relatam o efeito diluição do fertilizante fosfatado aplicado no SPC como responsável pela diminuição na diferença na distribuição do P-disponível, comumente encontrada em lavouras cultivadas em SPD. No presente estudo, tal efeito também foi observado.

Na correlação entre os teores de P no solo avaliados por diferentes extratores e o P-lábil determinado com o fracionamento de Hedley (**Tabela 3**) verifica-se correlação significativa no experimento entre o P-lábil e os teores disponíveis de P extraídos pela Resina e pelo extrator ácido Mehlich1. Tanto na correlação geral, como na correlação em função dos manejos, o extrator Mehlich3 não se correlacionou aos teores de P da fração lábil, determinados pelo fracionamento de Hedley. Isso se deve ao fato de a ação do extrator Mehlich3 possuir mecanismo de extração por dissolução assim como no Mehlich1, entretanto com menor força, dado a substituição do H₂SO₄ e do HCl pelo CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹ e HNO₃ 0,13 mol L⁻¹, com adição ainda de NH₄F 0,015 mol L⁻¹, visando a sua ação complexante de Ca e Al, liberando P destes compostos. Tal mecanismo não se evidenciou positivo ao solo em estudo (Latossolo Vermelho argiloso).

O coeficiente de correlação encontrado para a Resina (0,44) permite inferir numa baixa relação entre o extrator e o P-lábil determinado pela extração sequencial do esquema de fracionamento, enquanto que quando se utiliza o método Mehlich1 a correlação é mais expressiva, permitindo inferir que o P-lábil do solo apresentou relação de 88,4% com



os teores de P disponível quantificados pelo método Mehlich1. Ao separar-se quanto aos manejos (SPD e SPC) verifica-se que no SPD tanto a Resina como o Mehlich1 apresentaram alta correlação com os teores de P-lábil determinado pelo fracionamento de P. No SPC, por sua vez, apenas o método da Resina apresentou correlação com o P-lábil do solo, enquanto que a extração ácida não se relacionou com a fração lábil de P determinada pelo fracionamento de Hedley.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre o P disponível avaliado por diferentes extratores e o P-lábil quantificado pelo fracionamento de Hedley em distintos manejos num Latossolo Vermelho do Cerrado.

Geral				
	P-Lábil	P Resina	P Mehlich1	P Mehlich3
P-Lábil	1	-	-	-
P-Resina	0,44*	1	-	-
P-Mehlich1	0,94**	0,31ns	1	-
P-Mehlich3	0,21ns	0,04ns	0,04ns	1
Sistema Plantio Direto				
	P-Lábil	P-Resina	P-Mehlich1	P-Mehlich3
P-Lábil	1	-	-	-
P-Resina	0,90**	1	-	-
P-Mehlich1	0,93**	0,78**	1	-
P-Mehlich3	-0,06ns	0,07ns	0,02ns	1
Sistema de Preparo Convencional				
	P-Lábil	P-Resina	P-Mehlich1	P-Mehlich3
P-Lábil	1	-	-	-
P-Resina	0,64*	1	-	-
P-Mehlich1	-0,44ns	-0,15ns	1	-
P-Mehlich3	-0,02ns	0,13ns	0,02ns	1

*Significativo a 5%. **Significativo a 1%. NS - não significativo.

CONCLUSÕES

A adoção do sistema Plantio Direto proporciona maior disponibilidade de P na camada superficial do solo, comparado ao sistema de preparo convencional.

A profundidade do solo tem efeito na avaliação da disponibilidade de P avaliada por extratores, se fazendo necessária a amostragem em camadas para maior detecção da disponibilidade de P do solo.

Os métodos Mehlich1 e Resina apresentam alta relação com o P-Lábil do solo quando este é manejado sob Plantio Direto, enquanto que o

Mehlich3 não se correlacionou com o P-Lábil do solo.

AGRADECIMENTOS

À AGRISUS pelo financiamento do projeto.

A Empresa SLC Agrícola S.A., pelo apoio na realização do estudo.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

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*, Amsterdam, 64(3/4):197-214, 1995.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema plantio direto: conceitos, adoção e fatores limitantes. EMBRAPA Solos. Comunicado técnico 31. 2005. 8p.

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*, 46:970-976, 1982.

KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus of soils. In: STELLY, M. The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 433-469.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

NUNES, R. S.; et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(3):877-888, 2011.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, 38(2):576-586, 2008.

SAS Institute Inc. SAS/STAT. User's guide, version 9.2. Cary: SAS Institute, 2008.