



Disponibilidade de fósforo no solo influenciada por plantas de cobertura e fontes fosfatadas⁽¹⁾.

Ana Paula Bettoni Teles⁽²⁾; Paulo Sergio Pavinato⁽³⁾ Laércio Ricardo Sartor⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq.

⁽²⁾ Doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; Piracicaba, SP; ana.bettoni@usp.br; ⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; Piracicaba, SP; ⁽⁴⁾ Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Dois Vizinhos, PR.

RESUMO: As plantas podem desenvolver diferentes mecanismos para absorver e solubilizar o fósforo (P) do solo, especialmente em ambientes com baixa disponibilidade, melhorando o aproveitamento do P aplicado via fertilizante. Assim, este estudo objetivou avaliar as alterações na disponibilidade de P em um solo tropical argiloso, sob influência de plantas de cobertura no inverno, associadas ao efeito residual da adubação fosfatada solúvel e de baixa solubilidade aplicadas no cultivo de verão. O experimento foi conduzido durante três anos agrícolas (2008 - 2011) em um Nitossolo Vermelho, de textura argilosa, em Dois Vizinhos – PR (25°44'05" Sul; 53°03'31" Oeste). O delineamento foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 7x3, com três repetições. As fontes fosfatadas foram: Fosfato Natural (FN), Superfosfato Simples (SPS) e controle (SEM P), e as plantas de cobertura foram: ervilhaca (*Vicia sativa*), tremoço branco (*Lupinus albus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), azevém (*Lolium multiflorum*), aveia preta (*Avena strigosa*), trevo branco (*Trifolium repens*) e pousio. Após o cultivo das plantas de cobertura, no primeiro e terceiro ano, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, para análise do P disponível no solo, por meio das duas primeiras etapas do fracionamento de Hedley et al. (1982). O P disponível no solo foi pouco influenciado pelas plantas de cobertura durante os três anos de cultivo e a aplicação de fertilizantes fosfatados promoveu acúmulo de P disponível P no solo.

Termos de indexação: superfosfato simples, fosfato natural, efeito de plantas.

INTRODUÇÃO

A deficiência de P é muito comum em várias regiões do mundo, principalmente naquelas de clima tropical que possuem solos com alto grau de intemperismo. Nesses solos tropicais, o P é limitante para o desenvolvimento das plantas, devido às várias interações que ocorrem desse nutriente com o solo, como por exemplo, a adsorção e a precipitação, o que torna a produção de alimentos altamente dependente do uso de

fertilizantes fosfatados, em doses bastante elevadas (Novais et al., 2007).

O cultivo de plantas de cobertura nos intervalos entre as culturas anuais de grãos pode ser uma alternativa para melhorar o aproveitamento deste nutriente natural do solo ou do residual de fertilizantes aplicados. Isso porque as plantas têm diferentes potenciais de absorção de P do solo e também apresentam meios específicos de solubilizar este nutriente, especialmente em ambientes com baixa disponibilidade, seja pela modificação na solubilização, na adsorção ou na difusão do nutriente no solo (Lajtha & Harrison, 1995).

Uma vez que as aplicações de fertilizantes fosfatados no solo nestas regiões tropicais são normalmente maiores que as quantidades de P exigidas pelas plantas, pode-se dizer que o solo atua como dreno do P aplicado. A solubilidade desse fosfato aplicado, aliada ao tipo de solo, ao manejo utilizado e às espécies cultivadas, altera a dinâmica do P, promovendo acúmulo desse nutriente em diversas formas (Chien & Menon, 1995; Chien et al., 2010).

Sabendo-se, então, que a adsorção de P nos solos brasileiros é alta, especialmente nos que contêm frações minerais relativamente finas, com alto teor de argila e óxidos de Fe e Al, e também que as plantas de cobertura têm diferentes potenciais de absorção de P, apresentando meios específicos de solubilizá-lo, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na disponibilidade de P no solo sob plantas de cobertura no inverno, associadas ao efeito residual da adubação fosfatada solúvel e de baixa solubilidade aplicadas no cultivo de verão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante três anos agrícolas (2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011) em um Nitossolo Vermelho, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006), no município de Dois Vizinhos – PR. Esta área vinha sendo manejada sob o sistema de semeadura direta desde o ano agrícola de 2001 em cultivo comercial de produção de soja, milho e trigo. O delineamento experimental foi em blocos



casualizados, com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 7 x 3, com três repetições. Foram avaliadas seis espécies de plantas de cobertura de inverno (ervilhaca - *Vicia sativa*, tremoço branco - *Lupinus albus*, nabo forrageiro - *Raphanus sativus*, azevém - *Lolium multiflorum*, aveia preta - *Avena strigosa*, trevo branco - *Trifolium repens*) e pousio, associadas ao residual de duas fontes de fertilizantes fosfatados, aplicadas nas culturas de verão (Fosfato Natural da Argélia e o Superfosfato Simples) mais o controle (sem aplicação de fosfato). Antecedendo as plantas de cobertura foi cultivado feijão em 2008/09 e milho em 2009/10 e 2010/11, como cultura de verão.

Os fosfatos foram aplicados a lanço em área total, sem incorporação, antecedendo a semeadura das culturas de verão em cada ano de cultivo e a dose utilizada foi 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel na primeira safra e 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel nas safras subsequentes.

A adubação potássica e nitrogenada foi a recomendada para as culturas de verão, não sendo realizada nas plantas de cobertura no inverno, exceção para as gramíneas, que receberam 40 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. A recomendação foi feita de acordo com os resultados obtidos na análise inicial do solo (**Tabela 1**) (CQFS RS/SC, 2004).

As mudanças na disponibilidade de P no solo foram avaliadas através da amostragem nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, realizadas com pá de corte, logo após o manejo das coberturas de inverno, sempre no mês de setembro, após completar o primeiro (2009) e terceiro (2011) ciclos de cultivo.

A determinação do P foi realizada de maneira sequencial numa mesma amostra de solo, seguindo a primeira e segunda etapa do fracionamento proposto por Hedley et al. (1982). As formas de P determinadas foram somadas e denominadas como P disponível no solo

Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do programa SAS 9.2, considerando o efeito isolado dos fatores ou a interação, quando significativa, sendo as médias comparadas pelo teste LSD, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 2009 o P disponível no solo apresentou interação entre as plantas de cobertura e fontes fosfatadas na camada de 10-20 cm. Nesse mesmo ano, os teores de P disponível foram influenciados pelas fontes de fertilizantes, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, e pelas plantas de

cobertura, na camada de 5-10 cm. Em 2011 foi observado somente efeito de fontes nas camadas de 0-5 e 10-20 cm (**Tabela 2**).

Para a maioria dos tratamentos foi observado um gradiente no teor de P no perfil do solo, tendendo decrescer da camada superior à inferior, respectivamente. Como o P é um nutriente pouco móvel no solo, devido a sua capacidade de formar compostos e ligações de alta energia com alguns constituintes do solo, este resultado é atribuído à aplicação superficial dos fertilizantes fosfatados sem incorporação no solo. O longo tempo em que a área vem sendo manejada sob o sistema de plantio direto também pode ter contribuído para estes resultados, pois mesmo onde não houve a aplicação de fertilizantes a concentração de P na camada superior também foi maior, uma vez que as plantas cultivadas podem realizar a ciclagem do P no solo, absorvendo o P disponível de camadas mais profundas, deixando-o na superfície após a decomposição dos seus resíduos (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

Os resultados do ano de 2009 mostraram que os teores de P foram menores, em valores absolutos, onde não foi cultivado (pousio), sendo observadas diferenças entre as plantas apenas nas camadas mais profundas (5-10 e 10-20 cm). É observado também um acúmulo de P, proveniente do total aplicado via fertilizante, pois no ano de 2011 os valores foram superiores ao ano de 2009, principalmente sob a fonte FN. Onde não foi aplicado P também foi observada essa tendência, porém, em menor intensidade. Essa tendência foi mais expressiva nas camadas subsuperficiais (5-10 e 10-20 cm).

Estes resultados evidenciam a hipótese levantada nesse estudo de que as plantas desenvolvem diferentes estratégias e mecanismos fisiológicos para absorver o P do solo, sendo que algumas espécies são capazes de adquirir o P de frações que não estão disponíveis para todas as plantas, ou buscar P de camadas mais profundas, ocasionando o acúmulo na superfície do solo. Assim, o resultado observado pode ser devido a liberação de exsudados radiculares, que contém ácidos orgânicos que podem agir na dissociação dos grupos funcionais dos colóides do solo, ocupando os sítios de adsorção e mobilizando o P para a solução do solo (Le Bayon et al., 2006).

Quando se compara as plantas de cobertura, foi observada influência no P disponível no solo na camada de 5-10 cm, apenas no ano de 2009, em que o cultivo do nabo e do azevém proporcionaram maior teor de P quando comparados com os teores proporcionados pelo pousio e pela ervilhaca.

Desdobrando a interação entre os fatores



estudados na profundidade de 10-20 cm, no ano de 2009, foi possível observar que a aplicação de FN associado ao cultivo de ervilhaca, aveia e trevo proporcionaram os maiores teores de P quando comparados com o SPS e o controle, sendo que a associação do FN com o trevo não diferiu dos resultados obtidos pela associação do SPS com o trevo. O trevo quando associado com o SPS resultou em maior P disponível quando comparado com as demais espécies de plantas. Já para a associação com o FN o trevo se mostrou superior apenas ao nabo e ao pousio. No ano de 2011 não foi observado efeito das plantas de cobertura em nenhuma das camadas avaliadas.

De modo geral, observa-se que, após o cultivo das plantas de cobertura, os teores de P disponível em função das fontes fosfatadas na camada de 0-5 cm tenderam a aumentar na sequência: controle, fosfato solúvel e fosfato natural, em ambos os anos avaliados. Isso pode ser atribuído ao efeito residual do FN, uma vez que este fosfato é pouco solúvel, sendo o P liberado lentamente no solo.

O P disponível na camada 5-10 cm não foi afetado pela fonte de fosfato depois de três anos de cultivo e negativamente afetado na camada de 5-10 cm em 2009. Este esgotamento no solo de P disponível na camada mais profunda é atribuído à absorção de P pelas plantas destas camadas sem reposição via fertilizantes em curto espaço de tempo, uma vez que solos tropicais são bastante intemperizados, possuindo óxidos de Fe e Al que são capazes de adsorver fortemente P em camadas mais superficiais, não permitindo a mobilidade desse nutriente ao longo do perfil após a fertilização (Alamgir & Marschner, 2013).

CONCLUSÕES

Em três anos consecutivos, as plantas de cobertura estudadas tiveram pouca ou nenhuma influência na disponibilidade de P no solo.

A aplicação de fertilizantes fosfatados promoveu acúmulo de P no solo, principalmente na camada superficial e mais expressivo com o fosfato natural.

Os estudos nestas condições de solos devem ser mantidos por longo prazo para que se consiga melhor entendimento do comportamento deste nutriente e do efeito das plantas de cobertura.

REFERÊNCIAS

ALAMGIR, M. D.; MARSCHNER, P. (2013) Changes in phosphorus pools in three soils upon addition of legume residues differing in carbon/phosphorus ratio. *Soil Research* 51:484-493, 2013.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research* 41:227-234, 1995.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; MIKKELSEN, R. Agronomic use of phosphate rock for direct application. *Better crops*, 94:21-23, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

EMBRAPA – CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª. Edição. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

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 America Journal*, 46:970-976, 1982.

LAJTHA, K.; HARRISON, A. F. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plants species and communities. In: TIESSEN, H. (Ed.). *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management*. 1 ed. Chichester, UK: Wiley, 1995. p. 139-146.

LE BAYON, R. C.; WEISSKOPF, L.; MARTINOIA, E.; JANSÁ, J.; FROSSARD, E.; KELLER, F.; FOLLMI, K. B.; GOBAT, J.-M. Soil phosphorus uptake by continuously cropped *Lupinus albus*: A new microcosm design. *Plant and Soil*, 283:309-321, 2006.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:151-160, 2001.



Tabela 1. Análise química do solo antecedendo a instalação do experimento com fosfatos e plantas de cobertura, 2008.

Profundidade cm	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺	K ⁺	V %
0-5	5,4	40,2	8,1	0,0	3,4	5,4	2,6	0,5	71,5
5-10	5,2	40,2	9,7	0,0	3,6	5,6	2,9	0,2	70,7
10-20	5,0	26,8	4,8	0,0	3,9	4,3	2,1	0,1	62,4

Tabela 2. Teores de P disponível no solo em função das fontes fosfatadas e plantas de cobertura.

Plantas de cobertura	Fonte de P/ano/camada							
	2009				2011			
	SEM P	SPS	FN	Média	SEM P	SPS	FN	Média
----- mg kg ⁻¹ (%) -----								
0-5 cm								
Pousio	43	35	47	41 ^{ns}	58	61	127	76 ^{ns}
Ervilhaca	50	48	59	54	41	71	86	65
Tremoço	41	64	56	54	*	*	*	*
Nabo	45	54	41	46	46	49	79	59
Azevém	42	62	55	53	55	74	69	66
Aveia	39	45	53	46	39	41	53	45
Trevo	45	45	70	51	37	68	128	71
Média	43 B	50 AB	53 A		46 B	59 B	86 A	
C.V.(%)	24				46			
5-10 cm								
Pousio	34	27	31	31 b	45	56	52	51 ^{ns}
Ervilhaca	36	28	32	32 b	74	52	84	70
Tremoço	41	38	33	37 ab	*	*	*	*
Nabo	50	38	29	40 a	64	54	51	55
Azevém	45	39	38	41 a	73	69	116	82
Aveia	36	27	31	31 b	51	45	88	61
Trevo	37	27	42	34 ab	65	62	56	60
Média	40 A	33 B	33 B		62 ^{ns}	56	72	
C.V.(%)	20				48			
10-20 cm								
Pousio	21 Ab	21 Ab	27 Ab	23	71	22	44	46 ^{ns}
Ervilhaca	23 Bab	19 Bb	49 Aab	30	51	24	47	43
Tremoço	28 Aab	24 Ab	43 Aab	32	*	*	*	*
Nabo	26 Aab	23 Ab	26 Ab	25	43	46	35	42
Azevém	34 Aa	22 Ab	35 Aab	31	19	35	44	34
Aveia	22 Bb	19 Bb	53 Aab	31	23	25	56	35
Trevo	24 Bab	55 Aa	65 Aa	41	23	34	70	44
Média	25	25	41		40 AB	31 B	50 A	
C.V.(%)	29				51			

Dentro de cada ano, médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Não houve estabelecimento do Tremoço no ano de 2011. SEM P = sem aplicação de fosfato; SPS = superfosfato simples; FN = Fosfato natural