

DIVISÃO 3 - USO E MANEJO DO SOLO

Comissão 3.1 - Fertilidade do solo e nutrição de plantas

FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SOLO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA EM UM LATOSSOLO COM DIFERENTES HISTÓRICOS DE USO⁽¹⁾

Leandro Flávio Carneiro⁽²⁾, Álvaro Vilela de Resende⁽³⁾, Antônio Eduardo Furtini Neto⁽⁴⁾, José Zilton Lopes Santos⁽⁵⁾, Nilton Curi⁽⁴⁾, Thiago Henrique Pereira Reis⁽⁶⁾ & Lucas Albert Ribeiro do Valle⁽⁶⁾

RESUMO

No sistema plantio direto existe tendência de melhor aproveitamento do P, sobretudo em áreas cultivadas há mais tempo, mas há, ainda, necessidade de confirmação deste fato. Este trabalho teve como objetivo quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de P e avaliar as respostas a diferentes doses de P do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e braquiária (*Brachiaria decumbens*) cultivados em sucessão, em amostras de um Latossolo com diferentes históricos de uso. O experimento foi realizado em casa de vegetação com amostras de um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa e oxidíco, coletadas na profundidade de 0–20 cm. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 com quatro repetições, com dois históricos de uso (solo agrícola cultivado por longos períodos com calagem e adubações fosfatadas periódicas; e solo adjacente sob vegetação de cerrado nativo) e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³, na forma de superfosfato triplo, com base no teor de P₂O₅ total). Foi realizado cultivo de feijão até a colheita dos grãos e, posteriormente, cultivo de braquiária com dois cortes no momento de florescimento das plantas.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Trabalho financiado pela FAPEMIG. Recebido para publicação em janeiro de 2010 e aprovado em janeiro de 2011.

⁽²⁾ Professor Efetivo da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS. Rodovia MS 306 Km 6 Zona Rural, Unidade Universitária de Cassilândia, CEP 79540-000 Cassilândia (MS). E-mail: lcarneiro@uems.br

⁽³⁾ Pesquisador da Empresa Embrapa Milho e Sorgo. Rod. MG 424 Km 45, Caixa Postal 285. CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG). E-mail: alvaro@cnpms.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal: 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mails: afurtini@ufla.br; niltcuri@ufla.br

⁽⁵⁾ Professor Adjunto da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos 3000, Campus Universitário, Reitoria. Bairro Coroado I, CEP 69077-000 Manaus (AM). E-mail: ziltton@yahoo.com.br

⁽⁶⁾ Pós-Graduando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, UFLA. E-mails: thiaghpreis@yahoo.com.br; lucas_arv@hotmail.com

As frações de P foram determinadas em amostras de solo das unidades experimentais, antes e após a incubação dos tratamentos e após os cultivos do feijoeiro e da braquiária. A adubação fosfatada aumentou as formas inorgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos solos com histórico de cultivo e adubação. Ela também aumentou as formas orgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos solos adjacentes sem histórico de cultivo e adubação, nas maiores doses de P e após cultivo de feijoeiro e braquiária. As respostas do feijoeiro e da braquiária à adubação fosfatada foram menores nos solos com histórico de cultivo e adubação.

Termos de indexação: plantio direto, dinâmica e disponibilidade de fósforo.

SUMMARY: SOIL PHOSPHORUS FRACTIONS IN RESPONSE TO PHOSPHATE FERTILIZATION IN AN OXISOL UNDER DIFFERENT LAND USES

*In no-tillage systems there is a tendency of better P use, particularly in areas under longstanding cultivation, but this observation still awaits confirmation. This study had the objective to quantify the inorganic and organic P fractions and evaluate the responses to different P levels in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and brachiaria (*Brachiaria decumbens*) grown in succession, on a Oxisol with distinct previous land use. The experiment was conducted in a greenhouse with samples from the 0–20 cm layer of a clay Oxisol. The experiment was arranged in a completely randomized design, in a 2 x 4 factorial scheme with four replications, comparing two land uses (soil under longstanding agricultural use with liming and phosphate fertilization and adjacent soil under native cerrado vegetation) and four P rates (0, 120, 240, and 480 mg dm⁻³ as triple superphosphate based on total P₂O₅ content). The bean plants were cut after grain harvest and succeeded by brachiaria plants cut twice at flowering. Phosphorus fractions were determined in soil samples of each experimental unit, before and after incubation treatments and after bean and brachiaria cultivation. Phosphorus fertilization increased soil inorganic P forms, which were higher in soils with a history of cultivation and fertilization. Phosphorus fertilization increased soil organic P forms, which were higher in the native soil without cultivation and fertilization records, at the highest P fertilization rates and after bean and brachiaria cultivation. Bean and brachiaria responses to soil phosphate fertilization were lower in previously cultivated and fertilized soils.*

Index terms: no-tillage system, phosphorus dynamics and availability.

INTRODUÇÃO

A dinâmica do P no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam íons fosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo. Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente, resultando em baixos teores de P na solução do solo e, conseqüentemente, limitando a produção agrícola (Novais & Smyth, 1999; Rheinheimer et al., 2008).

Em áreas que já foram adubadas anteriormente, os efeitos do fornecimento de P podem não seguir os padrões típicos das respostas à adubação fosfatada normalmente verificados em solos virgens (Anghinoni, 2003). Após nova aplicação de fosfatos, a dinâmica

que se estabelece entre as formas de P, bem como a biodisponibilidade do nutriente, pode ser diferenciada, de forma que solos com certa reserva do nutriente permitem a igualdade de resposta a distintas estratégias de manejo da adubação fosfatada.

Algumas características do sistema plantio direto (SPD) podem interferir na dinâmica e disponibilidade do P no solo e, por conseqüente, na resposta das culturas à adubação fosfatada. O não revolvimento do solo no SPD, além de reduzir a erosão e propiciar maior teor de água (facilitando o mecanismo de difusão), diminui o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato, reduzindo as reações de adsorção. A mineralização lenta e gradual dos resíduos orgânicos proporciona a liberação e a redistribuição das formas orgânicas de P, mais móveis no solo e menos suscetíveis às reações de adsorção, além de manter um fluxo contínuo de diferentes formas de C, as quais competem com os íons fosfato pelos sítios de carga

positiva dos coloides inorgânicos e complexam íons de Al^{3+} e Fe^{3+} , formando compostos hidrossolúveis complexos e estáveis, resultando em aumento da disponibilidade de P para as raízes (Rheinheimer & Anghinoni, 2003). Diante dessas considerações, as respostas das culturas à adição de P no SPD têm sido relativamente pequenas, ou seja, as culturas têm requerido doses mais baixas desse nutriente (Resende et al., 2006; Rheinheimer et al., 2008). Isso, provavelmente, pode acontecer devido à ineficiência dos métodos de rotina em detectar a disponibilidade das formas orgânicas biodisponíveis de P no solo e à dificuldade de interpretação do nível de resposta a esse nutriente em uma rotação ou sequência de culturas (Sá, 2004).

Resende et al. (2006) observaram produção de milho de $12,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ em três cultivos sucessivos no tratamento sem adição de P e com baixa disponibilidade do nutriente pelos extratores de rotina, Mehlich-1 e resina de troca aniônica. Esse ensaio foi realizado em campo, num Argissolo Vermelho distrófico argiloso, da região do Cerrado mineiro, o qual já havia sido cultivado, e, há cerca de 10 anos permanecia coberto por pastagem de capim-braquiária, sem utilização para lavouras. Observou-se ainda nesse tratamento redução das frações inorgânicas e orgânicas de diferentes labilidades ao final dos três anos de cultivo, em relação ao ano de instalação do experimento (Santos et al., 2008).

Tendo em vista que o fornecimento de P representa parte expressiva do custo de produção das culturas, especialmente em lavouras conduzidas em alto nível tecnológico, e que existe alguma tendência de melhor aproveitamento do P em lavouras conduzidas no sistema plantio direto, sobretudo em áreas cultivadas por longo período, há necessidade de definição da melhor utilização de fertilizantes fosfatados a fim de subsidiar os técnicos e agricultores na tomada de decisão para o adequado manejo da adubação fosfatada.

Desse modo, buscando compreender como a disponibilidade de P é influenciada em áreas anteriormente adubadas, em sistema plantio direto sob adição de doses de P, e como isso pode influenciar no manejo de adubações fosfatadas futuras, este trabalho teve os objetivos de quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de P e avaliar as respostas do feijoeiro e da braquiária, cultivados em sucessão, em um Latossolo Vermelho distrófico com diferentes históricos de uso e doses de P.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura argilosa. As amostras do solo foram coletadas na Fazenda Alto Alegre, localizada

no município de Planaltina de Goiás-GO, situado a $15^{\circ} 20' 05'' \text{ S}$ e $47^{\circ} 34' 43'' \text{ W}$, numa altitude de 1.044 m e pluviosidade média anual de 1.500 mm . As amostras foram obtidas na profundidade de $0\text{--}20 \text{ cm}$, sob condição de vegetação nativa do Cerrado (solo adjacente) e sob condição de cultivo (solo cultivado). Esse solo, cultivado com culturas anuais (soja/milho) há mais de dez anos no sistema plantio direto (SPD), recebeu calagem ocasional e adubação anual de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e uma adubação fosfatada corretiva com 650 kg ha^{-1} de fosfato de gafsa (28 % de P_2O_5 total), seis anos antes da coleta das amostras, a qual foi incorporada com arado de aiveca. Após incorporação do fosfato, esse solo permaneceu sem perturbação até a coleta das amostras.

No momento da coleta, o solo adjacente apresentava as seguintes características: pH em água 5,5; 43, 1 e 4 mg dm^{-3} , respectivamente, de K, P-Mehlich-1 e P-resina; 0,5, 0,2, 0,8 e $6,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H + Al; 32, 0,6, 104, 326, 570, 203, 116, 4,7 e 35 g kg^{-1} , respectivamente, de matéria orgânica (MO), P_2O_5 (ataque sulfúrico), areia, silte, argila, caulinita (Ct), gibbsita (Gb), hematita (Hem) e goethita (Go); $9,8 \text{ mg L}^{-1}$ de P-remanescente (P-rem); e 1.139 mg dm^{-3} de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP). O solo cultivado apresentava: pH em água 5,7; 123, 12 e 37 mg dm^{-3} , respectivamente, de K, P-Mehlich-1 e P-resina; 2,2, 0,8, 0,2 e $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H + Al; 28, 1,1, 126, 304, 570, 242, 112, 4,7 e 34 g kg^{-1} , respectivamente, de MO, P_2O_5 (ataque sulfúrico), areia, silte, argila, Ct, Gb, Hem e Go; $14,6 \text{ mg L}^{-1}$ de P-rem; e 994 mg dm^{-3} de CMAP.

Utilizou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante) e, em seguida, braquiária (*Brachiaria decumbens*) como plantas-teste, em vasos plásticos com capacidade para 4 dm^3 de solo. Antes da aplicação dos tratamentos, foi feita calagem, objetivando elevar a saturação por bases para 70 %. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×4 com quatro repetições, totalizando 32 vasos. Os tratamentos foram constituídos por duas condições de uso anterior do solo (solo adjacente sob vegetação de Cerrado e solo agrícola cultivado por vários anos) e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm^{-3}), utilizando-se como fonte o superfosfato triplo.

A adubação básica para o feijoeiro foi feita com macro e micronutrientes na forma de reagentes p.a., nas seguintes doses por dm^3 de solo: 100 mg de N; 100 mg de K no solo adjacente e 30 mg no solo cultivado; 40 mg de S; $0,8 \text{ mg}$ de B; $1,5 \text{ mg}$ de Cu; $3,6 \text{ mg}$ de Mn; $5,0 \text{ mg}$ de Zn; e $0,15 \text{ mg}$ de Mo. Após incubação por 30 dias, procedeu-se à semeadura de seis sementes de feijão por vaso, sendo efetuado desbaste aos 12 dias após o plantio (DAP), deixando-se três plantas por vaso. As adubações de cobertura com N e K consistiram de 300 mg dm^{-3} de N e 150 de K nos tratamentos referentes ao solo cultivado, e de

300 mg dm⁻³ de N e 300 K nos tratamentos no solo adjacente, parcelados em três aplicações.

No início do florescimento do feijoeiro, aos 38 DAP, foi colhida a parte aérea de uma planta de cada vaso. As plantas colhidas foram secas em estufa, pesadas, trituradas e submetidas à análise química, para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997). Com base nos teores de P e na produção de matéria seca, foi calculado o acúmulo do nutriente na parte aérea. As duas plantas restantes foram cultivadas até o final do ciclo (75 DAP), ocasião em que a parte aérea foi colhida, sendo os grãos separados e secos em estufa para avaliação da produção. Caules e vagens foram secos em estufa juntamente com as folhas que senesceram e caíram ao longo do ciclo da cultura, a fim de determinar a produção de matéria seca da parte aérea.

Após retirada das raízes do feijoeiro, por meio da secagem e tamisagem do solo em peneira de 4 mm, procedeu-se à semeadura de 10 sementes de braquiária por vaso. Aos 10 DAP foi efetuado o desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Foram realizados dois cortes sucessivos no início do florescimento da braquiária, sem nenhuma adição de P (efeito residual dos tratamentos). As plantas colhidas foram secas em estufa, pesadas, trituradas e submetidas à análise química, para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997).

A adubação básica da braquiária, feita antes da semeadura, constituiu de: 30 mg dm⁻³ de N; 30 de K; 128 de Ca; 20 de Mg; 82 de S; 2,5 de Zn; 1 de Cu; 0,5 de B; e 0,1 de Mo de solo, com base na interpretação da análise química dos solos após o cultivo do feijoeiro. A adubação de cobertura com N e K para os dois cultivos da braquiária foi realizada de acordo com o crescimento das plantas, de forma parcelada, fornecendo-se, respectivamente, 210 e 160 mg dm⁻³ de solo.

Após o cultivo do feijoeiro e da braquiária, no momento da retirada das raízes, foram obtidas amostras de solo de cada vaso, que, juntamente com as amostras armazenadas na condição inicial do solo (antes da aplicação dos tratamentos), foram preparadas para determinação das frações inorgânicas e orgânicas de P (Hedley et al., 1982). No fracionamento proposto por Hedley et al. (1982) (Figura 1), P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po) lábil foram extraídos com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹; Pi e Po moderadamente lábil, com NaOH 0,1 mol L⁻¹; e Pi e Po pouco lábil, com NaOH 0,5 mol L⁻¹. O P foi determinado por colorimetria em todos os extratos, segundo Murphy & Riley (1962).

O conteúdo de Po das amostras foi estimado a partir da diferença entre o P-total de cada fração e o P inorgânico (Pi) recuperado no extrato. O P-total foi determinado numa alíquota que sofreu autoclavagem a 120 °C (digestão), e o Pi, determinado após clarificação de alíquota do mesmo extrato por meio da acidificação da amostra e centrifugação a 2.000 rpm por 15 min.

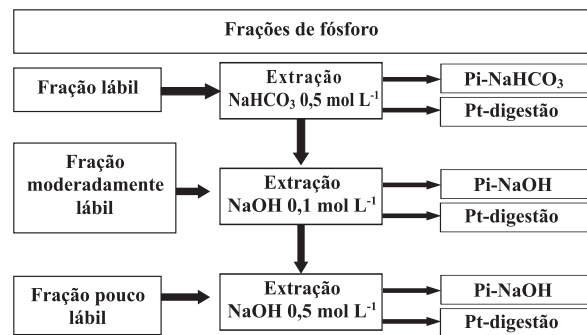


Figura 1. Fluxograma operacional de frações de fósforo, adaptado de Hedley et al. (1982).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e testes de médias (Scott-Knott, 5 %). Foram ajustadas equações de regressão para as diferentes frações de P no solo como variáveis dependentes das doses de P, utilizando-se o software estatístico Sisvar. Também foram realizadas correlações simples, por meio de coeficientes de Pearson, entre as frações de P no solo após incubação dos tratamentos (antes do feijoeiro) e após o cultivo do feijoeiro (antes da braquiária) com os componentes de produção do feijoeiro e da braquiária, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frações inorgânicas de fósforo

Exceto para os teores de Pi-NaOH 0,5 mol L⁻¹ após o cultivo da braquiária, que apresentaram ajuste ao modelo quadrático, observou-se aumento linear dos teores de P da fração mais lábil (Pi-NaHCO₃) em função das doses do nutriente aplicadas ao solo; em média, os valores no solo cultivado foram maiores em todas as épocas avaliadas no experimento (Quadro 1). Resultados similares foram observados para as frações inorgânicas de P extraídas com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (menor labilidade), com exceção para Pi-NaOH 0,5 mol L⁻¹ após o cultivo do feijoeiro, que não apresentou diferença significativa entre os históricos de uso (Quadro 1). O comportamento quadrático do Pi-NaOH 0,5 mol L⁻¹ após o cultivo da braquiária não era esperado, uma vez que todas as demais frações inorgânicas tiveram incrementos lineares com o aumento das doses do nutriente.

A superioridade das frações inorgânicas de P no solo cultivado, principalmente para Pi-NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ e NaOH 0,1 mol L⁻¹, pode ser explicada pelo fato de as adubações fosfatadas anuais, anteriores à instalação do experimento, estarem ocupando os sítios de fixação (adsorção + precipitação) de P no solo e, conseqüentemente, promovendo menor adsorção do P aplicado. Além disso, a adsorção de P, por meio dos complexos de esfera interna em oxi-hidróxidos de Fe e

Quadro 1. Teores de fósforo inorgânico (Pi) extraídos sequencialmente por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, NaOH 0,1 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹ em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso [solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)], doses de fósforo e épocas de avaliação

Fração de P	Época ⁽¹⁾	Uso	P inicial	Dose de P				Modelos ajustados	R ²
				0	120	240	480		
				mg dm ⁻³					
Pi-NaHCO ₃ 0,5 mol L ⁻¹	AI	SA	5	3 b	16 b	24 b	54 b	$\hat{y} = 2,5 + 0,10^{**}x$	0,99
		SC	19	13 a	32 a	50 a	87 a	$\hat{y} = 13 + 0,15^{**}x$	0,99
	AF	SA	5	5 b	19 b	31 b	60 b	$\hat{y} = 4,91 + 0,11^{**}x$	0,99
		SC	19	20 a	26 a	43 a	91 a	$\hat{y} = 12,63 + 0,15^{**}x$	0,95
	AB	SA	5	4 b	11 b	18 b	47 b	$\hat{y} = 1,13 + 0,09^{**}x$	0,97
		SC	19	13 a	21 a	37 a	66 a	$\hat{y} = 10,2 + 0,11^{**}x$	0,98
Pi-NaOH 0,1 mol L ⁻¹	AI	SA	51	35 b	106 b	150 b	252 b	$\hat{y} = 43 + 0,44x^{**}$	0,99
		SC	168	129 a	216 a	274 a	330 a	$\hat{y} = 152,7 + 0,4x^{**}$	0,93
	AF	SA	51	41 b	116 b	178 b	338 b	$\hat{y} = 39,01 + 0,62^{**}x$	0,99
		SC	168	160 a	212 a	299 a	432 a	$\hat{y} = 154,44 + 0,58^{**}x$	0,99
	AB	SA	51	35 b	87 b	141 b	283 b		
		SC	168	124 a	174 a	243 a	400 a	$\hat{y} = 70,1 + 0,55^{**}x$	0,99
Pi-NaOH 0,5 mol L ⁻¹	AI	SA	46	34 b	53 b	65 b	81 b	$\hat{y} = 38,6 + 0,09^{**}x$	0,95
		SC	107	78 a	76 a	89 a	93 a	$\hat{y} = 76,54 + 0,03^{**}x$	0,82
	AF	SA	46	42 a	53 a	72 a	97 a		
		SC	107	63 a	78 a	95 a	119 a	$\hat{y} = 53,07 + 0,12^{**}x$	0,99
	AB	SA	46	38 b	53,6 b	58 b	99 a	$\hat{y} = 36,16 + 0,12^{**}x$	0,95
		SC	107	62 a	81 a	97 a	24 b	$\hat{y} = 59 + 0,3x - 0,0008^{**}x^2$	0,97

⁽¹⁾ AI: após incubação dos tratamentos, AF: após cultivo do feijoeiro e AB: após cultivo da braquiária. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas, para cada fração de P e época de avaliação, não diferem entre si (Scott-Knott, 5 %): significativo a 1 % pelo teste de F.

Al, provoca aumento das cargas negativas na superfície das partículas do solo, incrementando o potencial elétrico negativo superficial (Lima et al., 2000), bem como a carga elétrica líquida e a CTC efetiva (Dyňa & Camargo, 1998), mesmo em solos altamente intemperizados, como os Latossolos da região do Cerrado. Singh et al. (2006) observaram que a adsorção de P aumentou com a adubação fosfatada, porém a porcentagem de P adsorvido diminuiu com o incremento das doses de P; esses autores relataram ainda que a adsorção de P foi maior e sua dessorção menor no tratamento correspondente ao histórico de ausência da adubação fosfatada.

Além da redução da fixação de P em solos cultivados por vários anos, é importante ressaltar também algumas particularidades do sistema plantio direto que contribuem para maiores teores das frações inorgânicas de P. Nesse sistema, tem-se observado a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, inclusive de P, devido à adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial e no sulco de plantio, bem como ausência de revolvimento do solo e diminuição da taxa de erosão (Rheinheimer & Anghinoni, 2003; Gatiboni et al., 2007).

Frações orgânicas de fósforo

Após incubação dos tratamentos, observou-se que a fração Po-NaHCO₃, mais lábil entre as frações

orgânicas, foi maior no solo adjacente em todas as doses de P aplicadas. Após o cultivo do feijoeiro e da braquiária, essa fração foi maior na condição de solo cultivado (Quadro 2). Esse comportamento pode ter ocorrido em razão de uma maior atividade biológica, contribuindo para maior incorporação do P aplicado nessa fração (Buehler et al., 2002). Com o incremento das doses de P, houve ajuste linear para os dois históricos de uso, em todas as épocas avaliadas.

A fração Po-NaOH 0,1 mol L⁻¹, após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro, também foi maior no solo cultivado, com exceção da dose de 480 mg dm⁻³. As médias ajustaram-se ao modelo linear em função das doses de P, exceto no solo cultivado após a incubação dos tratamentos (Quadro 2). Após os cortes da braquiária, o teor de Po-NaOH 0,1 mol L⁻¹ foi maior no solo adjacente, exceto no tratamento que não recebeu P. Portanto, de maneira geral, o teor de Po-NaOH 0,1 mol L⁻¹ tendeu a ser maior no solo adjacente, nas maiores doses de P e em condições de maior extração desse nutriente pelas plantas. Já as frações de Po-NaOH 0,5 mol L⁻¹, em geral, tenderam a ser maiores para o solo cultivado, e suas médias ajustaram-se de forma quadrática, em função das doses de P (Quadro 2).

A fração de Po-NaOH 0,1 mol L⁻¹, em todos os tratamentos e épocas de avaliação, foi maior em relação a Pi-NaOH 0,1 mol L⁻¹, em geral, aumentando de forma linear com o incremento das doses de P,

resultado esse que vai de encontro ao verificado por Conte et al. (2003), os quais não encontraram diferença nessa fração com o aumento de doses de P em um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto por mais de cinco anos. Esses resultados são importantes, pois o compartimento orgânico, além de diminuir a reatividade do P com o solo, ainda é tido como mais dinâmico, principalmente em condições de baixo P ou onde predomina argila de baixa atividade, como o solo em estudo (Sá, 2004; Rajj, 2004).

Diversos autores atribuem às frações menos lábeis uma atuação de fonte ou de dreno do P disponível quando a quantidade de P adicionada via fertilizante é maior que a exportada pelo sistema (absorção das plantas e perdas), sendo a porção remanescente estabilizada em formas de labilidade intermediária, que atua como dreno do P adicionado. Por outro lado, quando a adição de fertilizantes é aquém da exportação de P do sistema, as formas de P de labilidade intermediária atuam como fonte, mantendo os teores da solução do solo (Conte et al., 2003; Gatiboni et al., 2007).

Nesse contexto, observou-se que, após a incubação dos tratamentos, as frações de Po-NaHCO₃ foram menores em relação à condição inicial e também nas

menores doses de P, depois do cultivo do feijoeiro e nos cortes sucessivos da braquiária (Quadro 2). A fração Po-NaOH 0,1 mol L⁻¹ também foi menor em relação à condição inicial nas menores doses de P, mas somente no solo adjacente. Esses resultados indicam que, com a instalação do experimento (revolvimento do solo e correção da acidez), desencadeou-se um processo de mineralização das frações orgânicas de P de labilidade maior e intermediária, evidenciando a importância do Po como fonte de P às plantas, sobretudo em solos intemperizados e, ou, em sistemas com baixa adição de fertilizantes fosfatados (Rheinheimer et al., 2008; Santos et al., 2008). Além disso, observou-se tendência de redução nas frações Pi e Po NaOH 0,1 mol L⁻¹ após o cultivo da braquiária, expressando seu caráter fonte, principalmente na condição de solo já cultivado.

Produtividade do feijoeiro e da braquiária

A produção de grãos, a matéria seca da parte aérea e o conteúdo de P na parte aérea no florescimento do feijoeiro aumentaram em função das doses desse nutriente, independentemente do histórico de uso (Figura 2a,b,c). Quanto à produção de matéria seca

Quadro 2. Teores de fósforo orgânico (Po) extraídos sequencialmente por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, NaOH 0,1 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹ em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso [solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)], doses de fósforo e épocas de avaliação

Fração de P	Época ⁽¹⁾	Uso	P inicial	Dose de P				Modelos ajustados	R ²
				0	120	240	480		
				mg dm ⁻³					
Po-NaHCO ₃ 0,5 mol L ⁻¹	AI	SA	35	8 a	9 a	14 a	18 a	$\hat{y} = 7,61 + 0,02^{**}x$	0,94
		SC	56	2 b	1 b	11 b	11 b	$\hat{y} = 1,72 + 0,02^{**}x$	0,68
	AF	SA	35	17 b	32 b	60 b	82 b	$\hat{y} = 18,84 + 0,14^{**}x$	0,96
		SC	56	34 a	55 a	72 a	99 a	$\hat{y} = 36,93 + 0,13^{**}x$	0,99
	AB	SA	35	30 a	32 b	39 b	37 b	$\hat{y} = 31,36 + 0,01^{**}x$	0,62
		SC	56	35 a	40 a	48 a	82 a	$\hat{y} = 29,8 + 0,10^{**}x$	0,94
Po-NaOH 0,1 mol L ⁻¹	AI	SA	193	139 b	188 b	264 b	429 a	$\hat{y} = 125,47 + 0,62^{**}x$	0,99
		SC	147	217 a	368 a	348 a	371 b	$\hat{y} = 233 + 0,9x - 0,001^{**}x^2$	0,82
	AF	SA	193	164 b	229 b	261 b	545 a	$\hat{y} = 133,51 + 0,79^{**}x$	0,93
		SC	147	321 a	440 a	486 a	507 b	$\hat{y} = 364,4 + 0,35^{**}x$	0,75
	AB	SA	193	123 b	147 a	202 a	365 a	$\hat{y} = 99,9 + 0,52^{**}x$	0,96
		SC	147	193 a	68 b	82 b	379 a	$\hat{y} = 189 - 1,3x + 0,003^{**}x^2$	0,99
Po-NaOH 0,5 mol L ⁻¹	AI	SA	12	40 b	52 b	88 a	36 b	$\hat{y} = 34 + 0,3x - 0,0007^{**}x^2$	0,80
		SC	23	52 a	86 a	80 a	81 a	$\hat{y} = 56 + 0,2x - 0,0003^{**}x^2$	0,76
	AF	SA	12	49 b	70 b	136 a	97 b	$\hat{y} = 41 + 0,5x - 0,0008^{**}x^2$	0,80
		SC	23	76 a	81 a	132 b	144 a	$\hat{y} = 75,35 + 0,15^{**}x$	0,84
	AB	SA	12	71 b	134 a	146 a	123 b	$\hat{y} = 99,9 + 0,52^{**}x$	0,98
		SC	23	175 a	108 b	90 b	167 a	$\hat{y} = 174 - 0,7x + 0,0014^{**}x^2$	0,98

⁽¹⁾ AI: após incubação dos tratamentos, AF: após cultivo do feijoeiro e AB: após cultivo da braquiária. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas, para cada fração de P e época de avaliação, não diferem entre si (Scott-Knott, 5 %): significativo a 1 % pelo teste de F.

da parte aérea e ao conteúdo de P na parte aérea, acumulados em dois cortes da braquiária, também houve aumento em função das doses de P; independentemente do histórico de uso, as médias ajustaram-se com o aumento das doses de P ao modelo polinomial linear nos históricos de uso (Figura 3a,b).

As maiores produções estiveram associadas à condição de solo cultivado. Contudo, para produção de grãos do feijoeiro, matéria seca da parte aérea e conteúdo de P na parte aérea do feijoeiro e da braquiária, observou-se maior incremento por unidade de P adicionado na condição de solo não cultivado (maiores respostas à adubação fosfatada), como mostra

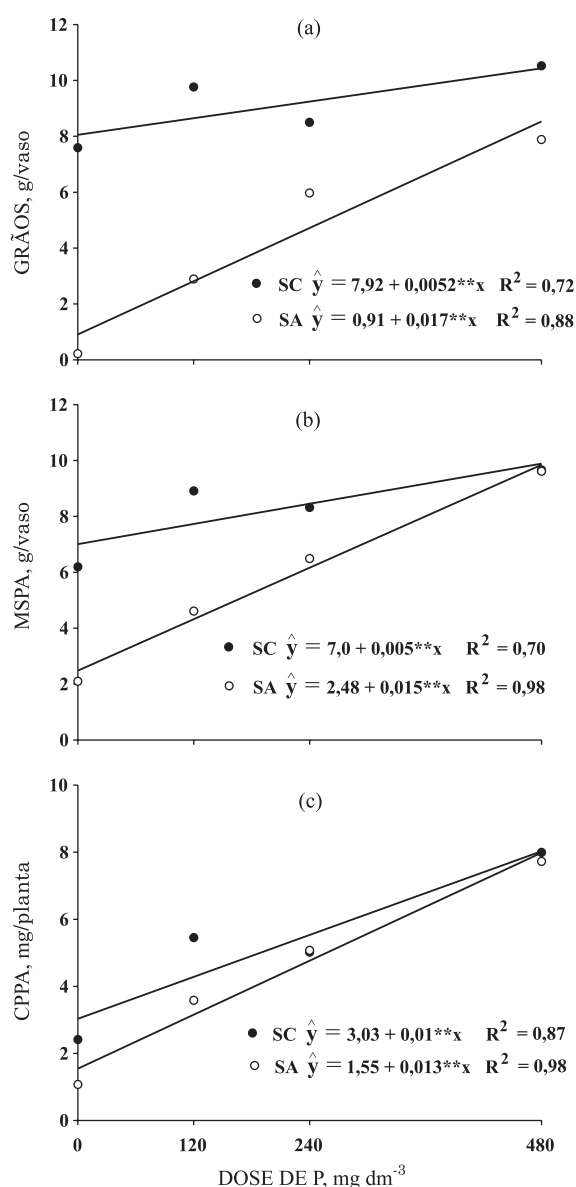


Figura 2. Produção de grãos (a), matéria seca da parte aérea (b) e conteúdo de P na parte aérea no florescimento (c) do feijoeiro em função das doses de fósforo num Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).

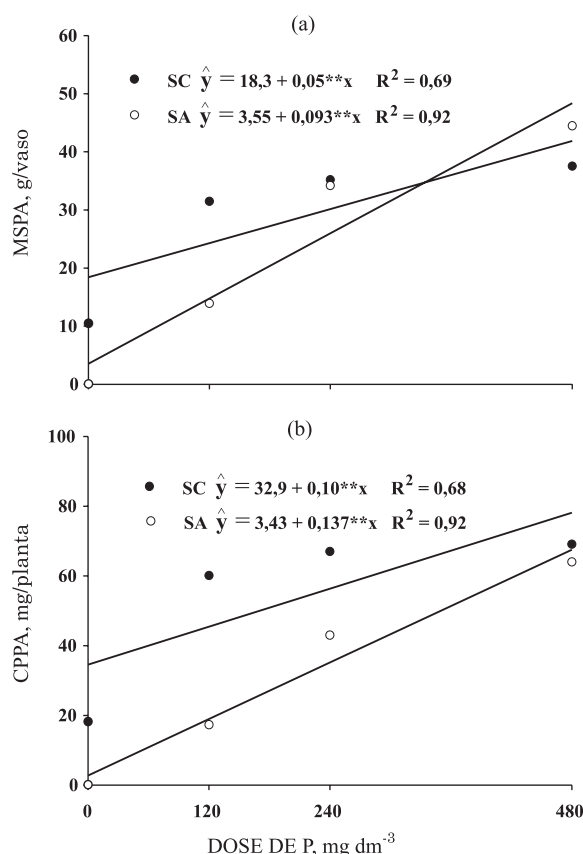


Figura 3. Matéria seca da parte aérea (a) e conteúdo de P na parte aérea (b) de dois cultivos sucessivos de braquiária em função das doses de fósforo num Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).

o coeficiente angular do modelo linear ajustado às médias (Figura 2). Isso contribuiu para uma tendência de equiparação na produção de grãos entre os dois históricos de uso na maior dose de P. No solo adjacente, precisou-se de uma dose em torno de 500 mg dm⁻³ para que as variáveis relacionadas ao feijoeiro e CPPA da braquiária se igualassem às médias observadas no solo cultivado. Para a produção de parte aérea da braquiária, a dose que proporcionou esse resultado foi de 400 mg dm⁻³. Isso confirma que os efeitos da adubação fosfatada sobre as culturas são mais intensos em solos de baixa fertilidade (Raij, 1991).

Observa-se também que a porcentagem de recuperação de P adicionada pelas plantas (feijoeiro + braquiária) diminuiu com o aumento das doses de P e foi maior no solo cultivado (Figura 4). Desse modo, esses resultados mostram que, quando já existe alguma saturação dos sítios de adsorção de P no solo, uma porção mais expressiva do nutriente fornecido na adubação subsequente é incorporada pelo vegetal, aumentando a eficiência de absorção do P. Nesse contexto, é provável que uma eventual redução nas adubações de manutenção, baseadas em tabelas de interpretação de análises de solo de rotina, não tenha

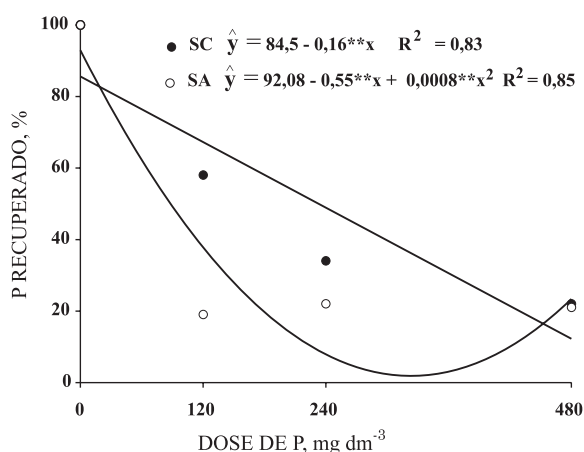


Figura 4. Percentagem de recuperação pelas plantas (feijoeiro + braquiária) do P adicionado em função das doses e do histórico de uso (solo adjacente (SA) e cultivado (SC))

maior impacto na produtividade de áreas que vêm sendo cultivadas por longos períodos e sem revolvimento do solo.

Coefficientes de correlação

O teor de nutriente no solo extraído por um método de análise química é indicador da sua disponibilidade, se apresentar correlação significativa com algum indicador da planta, como a quantidade do nutriente absorvida ou a produção (Corey, 1987). Em geral, houve correlação significativa e positiva da matéria

seca e do conteúdo de P na parte aérea do feijoeiro e da braquiária, assim como da produção de grãos do feijoeiro, com as frações de P no solo nos dois históricos de uso (Quadro 3).

Observou-se, em geral, que as correlações foram mais expressivas para o solo na condição não cultivada (sem histórico de cultivo) (Quadro 3), indicando que para essa situação há maior dependência entre as variáveis das plantas e as diversas formas de P no solo em relação à condição já cultivada anteriormente (com histórico de cultivo e adubação). Por outro lado, os coeficientes de correlação da matéria seca de parte aérea da braquiária, na condição cultivada, com as frações de Pi-NaOH 0,1 e NaOH 0,5 mol L⁻¹ e P-pouco lábil não foram significativos, mostrando que a relação entre essas variáveis é baixa ou inexistente. Entretanto, é importante destacar que os teores dessas frações tenderam a reduzir-se após os cultivos da braquiária, quando comparados com o período após o cultivo do feijoeiro, o que não descarta a hipótese de que essas frações contribuíram para a nutrição da braquiária.

CONCLUSÕES

1. A adubação fosfatada aumentou as formas inorgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos solos com histórico de cultivo e adubação.
2. A adubação fosfatada aumentou as formas orgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos

Quadro 3. Coeficientes de correlação das diversas formas de P extraídas antes do cultivo do feijoeiro e da braquiária com a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e da braquiária e com a produção de grãos (GRÃOS) do feijoeiro, no Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA)

Variável	Pi bic	Po bic	Pi hid 0,1	Po hid 0,1	Pi hid 0,5	Po hid 0,5
Feijoeiro						
Solo cultivado						
MSPA	0,66 **	0,79 **	0,72 **	0,79 **	0,75 **	0,61 **
CPPA	0,86 **	0,91 **	0,89 **	0,84 **	0,90 **	0,74 **
GRÃOS	0,72 **	0,71 **	0,70 **	0,63 **	0,71 **	0,51 *
Solo adjacente						
MSPA	0,97 **	0,96 **	0,97 **	0,91 **	0,96 **	0,61 **
CPPA	0,96 **	0,96 **	0,97 **	0,90 **	0,95 **	0,64 **
GRÃOS	0,92 **	0,97 **	0,91 **	0,80 **	0,92 **	0,82 **
Braquiaria						
Solo cultivado						
MSPA	0,73 **	0,75 **	-0,05 ns	0,62 *	0,08 ns	-0,46 *
CPPA	0,71 **	0,61 *	0,72 **	0,09 ns	-0,03 ns	-0,45 ns
Solo adjacente						
MSPA	0,88 **	0,68 **	0,92 **	0,88 **	0,87 **	0,57 *
CPPA	0,88 **	0,65 **	0,92 **	0,87 **	0,85 **	0,56 *

Pi e Po bic: Pi e Po NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹; Pi e Po hid 0,1 e 0,5: Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹. ns: não significativo. e : significativo a 1 e 5 % pelo teste t, respectivamente.

solos adjacentes sem histórico de cultivo e adubação, nas maiores doses de P e após cultivo do feijoeiro e da braquiária.

3. As respostas do feijoeiro e da braquiária à adubação fosfatada foram menores nos solos com histórico de cultivo e adubação.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa, no qual este experimento está incluído.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., Piracicaba, 2003. Anais... Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. CD ROM.
- BUEHLER, S.; OBERSON, A.; RAO, J.M.; FRIESEN, D.K. & FROSSARD, E. Sequential phosphorus extraction of a ³³P-labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:868-877, 2002.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:896-900, 2003.
- COREY, R.B. Soil test procedures: Correlation. In: BROWN, J.R., ed. *Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation*. Madison, Soil Science Society of America, 1987. p.15-22. (SSSA Special. Publication, 21).
- DYNIA, J.F. & CAMARGO, O.A. Effects of liming, green manuring, and phosphate addition on electrochemical attributes of an Oxisol from central Brazil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 29:755-762, 1998.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R. & FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:691-699, 2007.
- HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- LIMA, J.M.; ANDERSON, S.J. & CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:895-897, 2000.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 26:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solos e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., eds. *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba, Potafos, 2004. p.245-259.
- RESENDE, A.V.; FURINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D.I.; SANTOS, J.Z.L. & CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:453-466, 2006.
- RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems under subtropical conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 35:2339-2354, 2003.
- RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C. & KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. *Ci. Rural*, 38:576-586, 2008.
- SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T. & ABDALA, S.R.S., eds. *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba, Potafos, 2004. p.201-220.
- SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; CURI, N.; CARNEIRO, L.F. & COSTA, S.E.V.G.A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:705-714, 2008.
- SINGH, V.; DHILLION, N.S. & BRAR, B.S. Influence of long-term of fertilizers and farmyard manure on the adsorption-desorption behavior and bioavailability of phosphorus in soils. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 75:67-78, 2006.