



Adubação fosfatada no feijoeiro cultivado sob palhada de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu¹

João Vitor de Souza Silva^{2*}, Simério Carlos Silva Cruz², Alessandra Mayumi Tokura Alovizi³, Carlos Hissao Kurihara⁴, Warless Domingos Xavier², Matheus Andrade Martinez³

10.1590/0034-737X201865020010

RESUMO

A aplicação de fertilizante fosfatado é indispensável para obtenção de produções sustentáveis de feijão, sendo o fósforo (P) necessário praticamente em todo seu ciclo. Por essa razão, alternativas de manejo da cultura estão sendo utilizadas, visando ao melhor aproveitamento desse nutriente, dentre elas, o uso da braquiária como planta de cobertura. Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar a dinâmica do fósforo no solo, com e sem a presença de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu como planta de cobertura, bem como avaliar a resposta do feijoeiro à adubação fosfatada. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas; as parcelas foram compostas por doses de P_2O_5 (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹), por via do superfosfato triplo, e as subparcelas foram compostas por presença e ausência de braquiária como planta de cobertura, anteriormente ao cultivo do feijoeiro. Foram obtidas amostras de solo, aos 15 e 30 dias após a semeadura do feijoeiro. Nas amostras coletadas, efetuou-se o fracionamento de fósforo no solo, pela técnica de Hedley. Nas plantas de feijoeiro, avaliaram-se o teor de fósforo na folha e a produtividade de grãos. A adubação fosfatada e o cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu como planta de cobertura proporcionam aumentos dos teores de P-lábil do solo, aos 15 e 30 DAS do feijoeiro, e de P-plábil (P pouco lábil) do solo somente aos 15 DAS do feijoeiro. A presença da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, como planta de cobertura, aumenta os teores de P da folha do feijoeiro, com consequente ganho de 18% na produtividade de grãos.

Palavras-chave: cobertura vegetal; *Phaseolus vulgaris*; reciclagem de fósforo.

ABSTRACT

Phosphate fertilizer in common beans grown with a *Brachiaria brizantha* cv. Marandú mulch

The application of phosphate fertilizer is indispensable for the achievement of sustainable bean production, and P is necessary practically in the entire cycle. Thus, cultural management alternatives have been used in the best use of this nutrient, among them the use of *Brachiaria* as cover crop. The objective of this research was to evaluate the dynamics of phosphorus in the soil with and without the presence of *Brachiaria brizantha* cv. Marandú as cover crop, and the bean response to phosphorus fertilization. We used a randomized block design with a split plot arrangement; the plots were composed of P_2O_5 doses (0, 50, 100, 200, and 400 kg ha⁻¹) via triple superphosphate; and the subplots were composed of the presence and absence of *Brachiaria* as previous cover crop cultivation of beans. Soil samples were taken at 15 and 30 days after sowing (DAS) bean. In the samples, phosphorus fractionation in soil was carried out by the Hedley technique. Phosphorus content was evaluated in the leaf and grain yield of bean plants. The phosphorus fertilization and cultivation of *Brachiaria brizantha* cv. Marandú as cover crop provided changes in the levels of labile P of soil at 15 and 30 DAS bean, and labile P of soil only at 15 DAS bean. The presence of *B. brizantha* cv. Marandú as cover crop increases the P content in the bean leaf with consequent grain yield gain of 18%.

Key words: vegetation cover; *Phaseolus vulgaris*; phosphorus recycling.

Submetido em 05/05/2015 e aprovado em 01/03/2018.

¹ Este trabalho é parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Trabalho financiado pela CAPES.

² Universidade Federal de Goiás, Jataí, Goiás, Brasil. joao_souza_agro@hotmail.com; simerio_cruz@yahoo.com.br; warless_sellraw@hotmail.com

³ Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciência Agrárias, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. alessandraalovizi@ufgd.edu.br; matheusamartinez@gmail.com

⁴ Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. carlos.kurihara@embrapa.br

*Autor para correspondência: joao_souza_agro@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das mais importantes fontes proteicas da dieta humana, em países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais. Segundo levantamento da Conab (2016), na safra de 2015/2016, o país produziu 2,59 milhões de toneladas, em 2,80 milhões de hectares, com produtividade média de 927 kg ha⁻¹. Deve-se destacar que esses dados não se referem apenas ao feijão comum.

A região centro-oeste tem cerca de 351,2 mil hectares ocupados com essa cultura, totalizando 580,5 mil toneladas de grãos de feijão, sendo o Estado de Goiás responsável por 281,9 mil toneladas desse total (Conab, 2016).

O avanço que vem ocorrendo, ano a ano, no aumento da produtividade nos sistemas agrícolas, só foi possível graças ao desenvolvimento de alternativas sustentáveis de manejo do solo, com destaque para o sistema de plantio direto.

A área total cultivada com plantio direto, no Brasil, é de aproximadamente 18 milhões de hectares, dos quais 28% (cinco milhões de hectares) no Cerrado. Os benefícios proporcionados por esse sistema conservacionista devem-se a alguns fatores como: manutenção de resíduos vegetais sobre o solo, presença de diferentes espécies de plantas com sistemas radiculares distintos, além do acúmulo de matéria orgânica (Carvalho, 2010). Esse sistema tem proporcionado alterações e melhorias dos atributos químicos e físicos do solo, resultando em aumento de produtividade.

O conhecimento da dinâmica e da disponibilidade de nutrientes em sistema plantio direto, com destaque para o fósforo (P), é de fundamental importância para o adequado manejo da adubação. O P é o elemento que mais limita a produção vegetal no Brasil, sendo o cultivo dos solos na região do Cerrado possível, principalmente, graças à correção da acidez e ao manejo da adubação fosfatada (Sousa & Lobato, 2003).

Depois do nitrogênio, o P é o segundo elemento mineral essencial de maior importância para a agricultura. Para a cultura do feijoeiro, porém, o P tem sido considerado o nutriente mais limitante para o crescimento e desenvolvimento, seguido do N e K (Fageria *et al.*, 1996). Fageria & Santos (1998) relatam que o acúmulo de P aumenta linearmente com a idade da planta de feijão, obtendo-se valor máximo no estágio de maturação fisiológica.

As principais fontes de fósforo utilizadas no Brasil são as solúveis, como o superfosfato simples, o superfosfato triplo e o monoamônio fosfato, que proporcionam a pronta disponibilização do nutriente, aumentando rapidamente a concentração de fósforo na solução do solo. Porém, estas fontes são oriundas de recursos não renováveis, as ro-

chas fosfáticas, o que pode comprometer a sustentabilidade dos sistemas de produção. Por essa razão, algumas opções têm sido propostas para aumentar a eficiência da adubação fosfatada, como o uso de plantas recicladoras desse elemento.

Resultados de pesquisas têm mostrado que o uso de plantas forrageiras, como capim braquiária e milheto, entre outras, proporcionam reciclagem de nutrientes, com destaque para o P, pois de acordo com Merlin *et al.* (2013), essas plantas são capazes de absorver formas de P não-lábeis e, ou, não detectadas pelos métodos tradicionais de análise de solo, tornando-o disponível para as culturas em sucessão.

Diante do exposto, objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar a dinâmica do fósforo no solo, com e sem a presença de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu como planta de cobertura, bem como a resposta do feijoeiro, cultivado em sucessão, à adubação fosfatada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Jataí, GO, na área experimental da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí. O clima de Jataí, GO, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com dois períodos bem definidos, o chuvoso, que vai de novembro até março, com maior índice pluviométrico em dezembro e janeiro, e o da seca, que se estende de abril a outubro.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, com 59,5% de argila. A área foi cultivada com soja nas safras de 2010/2011 e 2011/2012. Na safra 2012/2013, foi estabelecido o cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu nas subparcelas. A caracterização química do solo, de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009), apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O) = 5,3, M.O = 27 g kg⁻¹; P (mehlich-1) = 2,2 mg dm⁻³; K; Ca; Mg; H+Al; Al; SB e CTC, de 0,16; 1,17; 0,70; 5,99; 0,07; 2,0 e 8,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente e V = 25%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram avaliadas cinco doses de fósforo (0, 50, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), nas parcelas, e duas formas de manejo cultural (pousio e cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu como planta de cobertura), nas subparcelas.

A semeadura da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi realizada no dia 05/04/2013, em espaçamento de 0,50 m, em profundidade de 3 a 4 cm. Foram utilizados 10 kg ha⁻¹ de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, com valor cultural de 68%. A forrageira foi dessecada com 3 L ha⁻¹ de Glyphosate, 180 dias após a sua semeadura. No dia 05/08/2013 foi realizada a aplicação, em superfície, de 4,2 Mg

ha⁻¹ de calcário dolomítico, com PRNT igual 66%, em toda a área experimental, procurando atingir saturação por bases igual a 60%.

Para aplicação das doses de P₂O₅, foi utilizado um sulcador com quatro hastes de tração tratorizada, sendo feitos os sulcos de aproximadamente 7 cm de profundidade. O adubo, superfosfato triplo, com 47% de P₂O₅, foi distribuído manualmente no fundo do sulco. Em conjunto com a adubação fosfatada, foram fornecidos 20 kg ha⁻¹ de N e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se como fontes ureia e cloreto de potássio, respectivamente.

A semeadura do feijoeiro foi realizada no dia 22/11/2013, sem revolvimento do solo, tanto na área com braquiária (C) quanto na área sem braquiária (S), utilizando-se semeadora pneumática tratorizada, com sete linhas individuais espaçadas de 0,50 m, colocando-se dez sementes por metro.

Toda a área experimental recebeu, em cobertura, 30 e 40 kg ha⁻¹ de K₂O e N, respectivamente, na forma de cloreto de potássio e ureia. A adubação de cobertura foi realizada a lanço, manualmente, quando as plantas apresentavam-se no estágio V4.

No período de florescimento da cultura do feijoeiro, foram coletadas 15 folhas por parcela (3º trifólio completamente aberto), para posterior análise do teor de fósforo na folha, de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009). A produtividade de grãos, expressa em kg ha⁻¹, foi estimada em função da massa de grãos, corrigida para 13% de umidade, nas plantas presentes em 2 m da linha central por subparcela.

Em cada subparcela, foram coletadas duas amostras de solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, constituídas por seis subamostras, duas coletadas na linha de semeadura e quatro no espaço entrelinhas, utilizando-se trado tipo caneca. As amostras foram secadas ao ar livre, moídas e peneiradas em malha de 2 mm, para posterior fracionamento de fósforo em laboratório, segundo Hedley *et al.* (1982), com modificações feitas por Condrón *et al.* (1985).

Foi efetuada extração de fósforo inorgânico com resina de troca aniônica (Pi-resina), com bicarbonato de sódio (Pi-NaHCO₃), hidróxido de sódio a 0,1 mol L⁻¹ (Pi-NaOH 0,1 mol L⁻¹), hidróxido de sódio a 0,5 mol L⁻¹ (Pi-NaOH 0,5 mol L⁻¹) e ácido clorídrico a 1,0 mol L⁻¹ (Pi-HCl). Foi extraído também o fósforo residual (P-residual), por digestão com H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ saturado (Brookes & Powlson, 1982). O teor de fósforo orgânico foi obtido pela diferença entre o de P inorgânico e o do obtido por digestão (Tiessen *et al.*, 1984; Condrón *et al.*, 1985).

Para a extração do P-resina, foram confeccionados saquinhos de polietileno de 400 µm de malha, nos quais colocou-se 0,6 g de resina de troca aniônica DOWAX2-X18, saturada com bicarbonato.

Para leitura do fósforo inorgânico dos extratos, foi utilizado o procedimento descrito por Dick & Tabatabai (1977). Nos extratos de NaHCO₃ e NaOH, foram retiradas alíquotas para quantificação do fósforo total por digestão ácida em autoclave (Usepa, 1971). O fósforo nos extratos ácidos foi determinado segundo a metodologia descrita em Murphy & Riley (1962).

Sendo assim, as formas mais lábeis ou disponíveis (P-lábil) incluem a soma [Pi-resina + Pi-NaHCO₃ + Po-NaHCO₃], enquanto que as pouco-lábeis ou refratárias (P-plábil) incluem a soma [Pi-NaOH 0,5 + Po-NaOH 0,5 + Pi-NaOH 0,1 + Po-NaOH 0,1] e as formas não-lábeis (P-nlábil) incluem [Pi-HCl + Pi-residual].

Os dados originais foram submetidos à análise de variância, a 5 e a 1% de probabilidade, pelo teste F. Os dados referentes às doses de P₂O₅ foram submetidos à análise de regressão, calculada para equações lineares e quadráticas. Foram escolhidas as equações significativas, até 5% de probabilidade, pelo teste F, com o maior coeficiente de determinação (R²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

P-lábil, P-pouco lábil e P-não lábil aos 15 dias após semeadura (15 DAS)

Houve interação significativa entre doses e palhada, apenas para o P-lábil e P-pouco lábil, não tendo sido possível ajustar equação de regressão, linear ou quadrática, para o P-não lábil (Tabela 1).

Tanto para o tratamento sem palha de capim Marandu (pousio), como para o tratamento com palha de capim Marandu, houve ajuste dos dados para regressão linear e quadrática, ou seja, os teores de P-lábil aumentaram conforme o aumento das doses de P₂O₅ (Tabela 2). Adicionalmente, o aumento dos teores de P-lábil foi mais acentuado na área anteriormente cultivada com capim Marandu, como mostra o coeficiente angular do modelo de regressão ajustado (0,68), em relação àquele obtido no modelo de regressão ajustado para o cultivo de feijoeiro antecedido por um pousio (0,187) (Tabela 2).

Os incrementos para o P-lábil não foram proporcionais ao aumento nas doses de P aplicadas ao solo (Tabela 2). No tratamento sem palha de capim Marandu, nas menores doses de P₂O₅ (50 e 100 kg ha⁻¹), constatou-se um incremento de 35,5 e de 46,6% dos teores de P-lábil, respectivamente, em relação ao tratamento sem adubação fosfatada. Para as maiores doses de P₂O₅ (200 e 400 kg ha⁻¹), esse incremento foi de 93,3 e de 171,11%, respectivamente. Por outro lado, no tratamento com capim Marandu, verificaram-se incrementos menores, de 7,8, 14,1 e de 51,56%, para as doses de 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Salienta-se, contudo, que na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, os teores de P-lábil foram aumentados em 420,31%, o que representa

um aumento de 236 mg dm⁻³ na camada de 0-10 cm em comparação com o verificado com o tratamento que recebeu adubação fosfatada de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por essa razão, verifica-se que em condições de cultivo de feijoeiro sob palhada de capim Marandu, há aumento do estoque de fósforo do solo, com a aplicação da dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo que este pode ser aproveitado pela cultura do feijoeiro e por culturas subsequentes.

Na Tabela 2, observa-se, ainda, que a presença de capim Marandu como cobertura vegetal para o cultivo de feijoeiro resultou em incrementos significativos dos teores de P lábil, em relação aos do pousio, porém apenas para a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Esses resultados concordam com os de Pavinato *et al.* (2009), que observaram que o aumento dos teores de fósforo das frações lábeis, moderadamente lábeis e até pouco lábeis, como resultado da aplicação de P, ocorreu apenas em condições de uso de altas doses de fertilizantes fosfatados. Deve-se destacar, contudo, que esse efeito não depende da fonte de P utilizada, conforme Almeida (2014), que observou maiores teores de fósforo extraído com resina trocadora

de ânions (Pi-resina), no cultivo de braquiária, em relação à área em pousio, na camada de 0-5 cm, com todas as fontes de P avaliadas. No entanto, neste mesmo trabalho, este autor verificou aumento dos teores de fósforo, extraído com bicarbonato de sódio (Pi-NaHCO₃), na camada de 0-5 cm, quando houve adubação fosfatada com superfosfato triplo.

Embora a fração lábil de P do solo seja muito importante no suprimento para as culturas, ela representou um percentual pequeno do P total do solo, sendo essa participação de 7,54%, com a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 13,18%, com a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no tratamento sem palha. Na presença da cobertura vegetal de capim Marandu, a fração lábil de P representou 8,67%, com a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 24,88%, com a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em relação ao P total.

Em relação ao P-plábil, os dados ajustaram-se às regressões linear e quadrática, tanto para o tratamento com palha, quanto para o tratamento sem palha (Tabela 2). Diferenças significativas, comparando-se os tratamentos com e sem palha de capim Marandu, foram encontra-

Tabela 1: Resumo da análise de variância (valores de F), para o fósforo lábil (P-lábil), o fósforo pouco lábil (P-plábil) e o fósforo não lábil (P-nlábil), aos 15 dias após semeadura do feijoeiro (15DAS), em amostras de Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa

Causas de Variação	Variáveis		
	P-lábil 15DAS	P-plábil 15 DAS	P-nlábil 15DAS
Bloco	1,3196 ^{ns}	2,3675 ^{ns}	1,0751 ^{ns}
Doses	78,8719**	4,6459*	0,5098 ^{ns}
Palhada	22,6729**	3,4807 ^{ns}	0,0803 ^{ns}
Palhada*Doses	14,4075**	3,2677**	0,7968 ^{ns}
Regressão Polinomial (doses)			
Reg. Linear	210,7783**	10,0330**	0,1734 ^{ns}
Reg. Quadrática	81,1043**	5,0314**	0,7570 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

* Significativo a 5% de probabilidade (0,01 < p < 0,05).

^{ns} Não significativo (p > = 0,05).

Tabela 2: Teores de fósforo lábil (P-lábil), pouco lábil (P-plábil) e não lábil (P-nlábil), aos 15 dias após semeadura do feijoeiro (15DAS), em amostras de Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, em função de doses de fósforo e cobertura vegetal de capim Marandu

Fração de P	C ⁽¹⁾	Doses de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)					Modelos ajustados
		0	50	100	200	400	
		mg dm ⁻³					
P-lábil	S	45	61	66	87	122	y = 48,150 + 0,187**x
	C	64	69	73	97	333 ⁽²⁾	y = 25,275 + 0,680**x
P-plábil	S	334	362	381	389	412	y = 339,58 + 0,3917**x - 0,0005**x ²
	C	362	368	388	400	534 ⁽²⁾	y = 345,90 + 0,43**x
P-nlábil	S	300	376	327	468	384	_____
	C	417	359	437	383	326	_____

**Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01). Valores de R²: P-lábil (S) = 0,99, (C) = 0,99; P-plábil (S) = 0,96, (C) = 0,99⁽¹⁾ sem palha (S) e com palha (C)⁽²⁾ O tratamento com palha foi superior ao sem palha na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para P-lábil e P-plábil, pelo Teste F a 5% de probabilidade.

das apenas para a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, assim como para o P-lábil, para o qual o tratamento com a presença de palha capim Marandu apresentou maiores valores (Tabela 2).

Na fração de P-plábil aos 15 DAS, verificaram-se maiores valores de P em relação a frações P-lábil, o que já era esperado, por se tratar de um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, pobre em bases trocáveis, de baixo pH e com baixo teor de fósforo no solo. Isso ocorre pelo fato de essa fração estar associada aos óxidos de Fe e de Al, que, nesses solos, são encontrados em maiores quantidades. Resultado semelhante foi encontrado por Conte *et al.* (2003), trabalhando em Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso, em Santo Ângelo, RS. Em solos altamente intemperizados, com baixos teores de bases trocáveis, a forma de fósforo predominante são as ligadas ao ferro e ao alumínio presentes nos solos (Pavinato *et al.*, 2009).

P-lábil, P-pouco lábil e P-não lábil aos 30 dias após semeadura (30 DAS)

Não houve interação entre as doses de fósforo e a palhada de capim Marandu para o P-lábil, P-plábil e P-não lábil, aos 30 DAS (Tabela 3). Analisando-se separadamente as causas de variação, constatou-se diferença significativa para a palhada apenas para o P-lábil, cujos dados também foram ajustados aos modelos de regressão linear e quadrática.

Pode-se notar que o teor de P-lábil, na presença de cobertura vegetal de capim Marandu, foi superior ao da área em pousio, em aproximadamente 40%, sendo essa diferença significativa a 5% de probabilidade (Tabela 4).

Merlin *et al.* (2013), objetivando verificar a eficácia da *Urochloa ruziziensis* em aumentar a disponibilidade de P, em solo de áreas fertilizadas com superfosfato triplo ou fosfato Arad, observou que o cultivo da braquiária proporcionou incrementos das diversas formas de P no solo,

principalmente das mais lábeis, bem como do conteúdo de P nas folhas da soja, independentemente da fonte de P utilizada. No entanto, a produtividade da soja não aumentou pela introdução da braquiária no sistema de cultivo.

Nota-se que a braquiária, como planta de cobertura, proporciona aumento do teor de fósforo lábil, ou disponível no solo. Isso pode ser explicado pelo desenvolvido sistema radicular dessa gramínea, que explora grandes volumes de solo, aumentando a absorção de P em diferentes profundidades, de maneira a proporcionar a reciclagem de nutrientes, por decomposição de seus resíduos, diminuindo as perdas tanto por adsorção quanto por precipitação.

A maior disponibilidade de P em condições de cultivo sobre palha de braquiária também pode estar relacionada com a liberação de ácidos húmicos, durante a mineralização da palha dessa gramínea, os quais, segundo Shen *et al.* (2011), contém grande número de cargas negativas, grupos carboxila e hidroxila, que fortemente competem pelos sítios de adsorção do P no solo.

Os teores de P-lábil e P-plábil em relação às doses de P₂O₅ ajustaram-se aos modelos de regressão quadrática e linear, respectivamente (Tabela 5). Os teores médios de P-lábil e P-plábil aumentaram conforme as doses de P₂O₅, variando de 69,36 mg dm⁻³ até 219,43 mg dm⁻³, para o P-lábil, e de 445,61 mg dm⁻³ até 611,83 mg dm⁻³, para o P-plábil.

Na análise geral dos dados (Tabelas 2, 4 e 5), observase incremento de todas as formas de P do solo em função do tempo, ou seja, as alterações dos valores obtidos aos 15 DAS, em comparação com os obtidos aos 30 DAS. Para o teor de P-lábil, no tratamento pousio, houve um aumento de 5,8%, no período de 15 dias. Já no tratamento com cobertura vegetal de capim Marandu, o teor de P-lábil aumentou 112,7%, reforçando a importância dessa espécie para o aumento da disponibilidade de P, conforme já explicado anteriormente.

Tabela 3: Resumo da análise de variância (valores de F), para o fósforo lábil (P-lábil), o fósforo pouco lábil (P-plábil) e o fósforo não lábil (P-nlábil), aos 30 dias após semeadura do feijoeiro (30DAS), em amostras de Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa

Causas de Variação	Variáveis		
	P-lábil 30DAS	P-plábil 30 DAS	P-nlábil 30 DAS
Bloco	0,6545 ^{ns}	1,1065 ^{ns}	4,0232*
Doses	25,5689**	6,2408**	0,0054 ^{ns}
Palhada	14,7203**	3,7466 ^{ns}	1,1420 ^{ns}
Palhada*Doses	0,9884 ^{ns}	0,9204 ^{ns}	0,8402 ^{ns}
Regressão Polinomial (doses)			
Reg. Linear	46,9633**	14,6187**	0,0001 ^{ns}
Reg. Quadrática	35,6737**	8,1239**	0,0185 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

* Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$).

^{ns} Não significativo ($p > 0,05$).

Para os teores de P-plábil e P-nlábil, o aumento em função do tempo foi de 29,4%, para o P-plábil, e de 70,6%, para o P-nlábil, dos 15 DAS para os 30 DAS, independentemente da presença ou da ausência de cobertura vegetal de capim Marandu. O aumento expressivo dos teores de P-nlábil (70,6%), no período de 15 dias, mostra o potencial de fixação de P do Latossolo Vermelho distroférico.

Avaliações no feijoeiro

Na Tabela 6, encontra-se o resumo da análise de variância para as avaliações feitas no feijoeiro. De acordo com os dados apresentados, houve interação significativa entre doses e palhada de capim marandu apenas para a

variável teor de fósforo na folha. Para a variável produtividade, houve efeito significativo para doses e palhada, isoladamente.

Em relação ao teor de fósforo nas folhas de feijoeiro (Figura 1), os valores ajustaram-se a equação de regressão linear, variando de 1,93 g kg⁻¹, nas subparcelas sem capim Marandu, até 2,40 g kg⁻¹, nas subparcelas com presença de palhada de capim Marandu. Na Figura 1, observa-se que o coeficiente angular obtido para a área com capim Marandu (0,0008) é 60% maior do que o coeficiente angular obtido para a área com pousio (0,0005). O melhor aproveitamento de P pelas plantas de feijoeiro nas parcelas com palhada de capim Marandu, representado pelo aumento do teor foliar, é reflexo da maior disponibilidade de

Tabela 4: Valores médios de fósforo lábil (P-lábil), fósforo pouco lábil (P-plábil) e fósforo não lábil (P-nlábil), aos 30 dias após semeadura do feijoeiro (30DAS), em amostras de Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, em presença e em ausência de cobertura vegetal de capim Marandu

Tratamentos	P-lábil 30DAS	P-plábil 30 DAS	P-nlábil 30 DAS
		mg dm ⁻³	
Sem palha	80,4	487,3	632,8
Com palha	128,9	530,7	656,4
F ⁽¹⁾	14,7**	3,8 ^{ns}	1,1 ^{ns}
CV (%)	38,2	13,9	10,8

⁽¹⁾ Valor de F calculado. ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não significativo.

Tabela 5: Valores médios de fósforo lábil (P-lábil) e fósforo pouco lábil (P-plábil), em função das doses de P₂O₅ aos 30 dias após semeadura do feijoeiro (30 DAS), em amostras de Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa

kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Fração de P	
	P-lábil 30 DAS	P-plábil 30 DAS
	mg dm ⁻³	
0	73,23	476,54
50	88,35	485,87
100	69,36	445,61
200	72,78	525,79
400	219,43	611,83
Modelos ajustados	y = 85,3 - 0,361**x + 0,002**x ²	y = 453,78 + 0,369**x
R ²	R ² = 0,97	R ² = 0,83

** Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

Tabela 6: Resumo da análise de variância (valores de F) do teor de fósforo na folha e da produtividade do feijoeiro

Causas de Variação	Variáveis	
	Teor de P na folha	Produtividade
Bloco	2,4047 ^{ns}	1,0626 ^{ns}
Doses	3,6618*	4,5483*
Palhada	8,0090*	5,2269*
Palhada*Doses	1,7554*	2,4412 ^{ns}
	Regressão Polinomial (doses)	
Reg. Linear	6,5430*	8,4365*
Reg. Quadrática	0,0305 ^{ns}	6,7828*

* Significativo a 5% de probabilidade (0,01 < p < 0,05). ^{ns} Não significativo (p > 0,05).

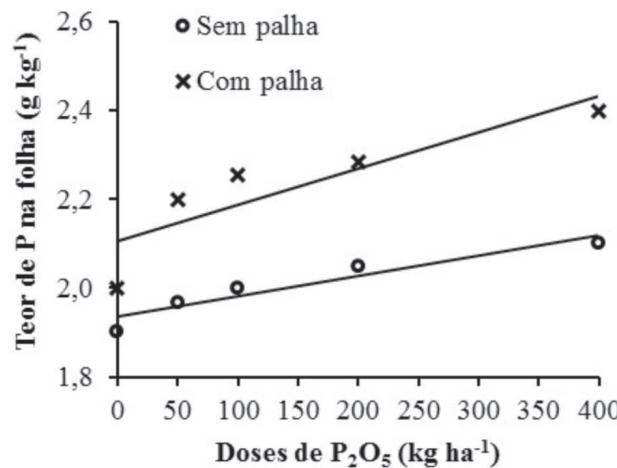


Figura 1: Teor de fósforo nas folhas de feijoeiro, em função das doses de P₂O₅. Sem palha: $y = 1,9346 + 0,0005x$, $R^2 = 0,89$; Com palha: $y = 2,1059 + 0,0008x$, $R^2 = 0,76$.

Tabela 7: Valores médios produtividade de feijoeiro, em presença e em ausência de cobertura vegetal de capim Marandu

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Sem palha	1715,85
Com palha	2023,83
F ⁽¹⁾	5,23*
CV (%)	22,78

⁽¹⁾ Valor de F calculado. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

P-lábil e de P-plábil dentro desse sistema, por meio da mineralização da palhada.

Para Malavolta *et al.* (1997), os níveis críticos de P na folha de feijoeiro (*Phaseolus*) encontram-se entre 2,0 e 3,0 g kg⁻¹. Com base nesses níveis críticos, nota-se que, para os tratamentos cuja área permaneceu em pousio, as plantas de feijoeiro só atingiram o teor adequando de P nas folhas a partir da dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Já na presença de palhada de capim Marandu, as plantas de feijoeiro apresentavam-se dentro do nível crítico mesmo na ausência de adubação fosfatada (Figura 1). Isso explica-se pela maior disponibilidade de P-lábil e P-plábil.

Em relação à produtividade de grãos, os maiores valores foram obtidos na área com presença do capim como planta de cobertura (Tabela 7). Esse resultado está relacionado com a melhor nutrição das plantas cultivadas sobre a palhada de braquiária, cujos teores foliares de P foram superiores (Figura 1), em função da maior disponibilidade de P nessas parcelas. De acordo com Rossi *et al.* (2012), a rápida liberação de P no período inicial da decomposição da braquiária está relacionada com a perda de P solúvel em água acumulada nos vacúolos dos resíduos vegetais, o que contribui para aumentar a disponibilidade do P para as plantas.

Amaral *et al.* (2016), estudando o efeito de diferentes palhadas sobre a produtividade do feijoeiro, também encontram maiores valores nas parcelas com palhada de braquiária (*U. ruziziensis*). Os dados de produtividade apresentaram comportamento quadrático em função das doses de P₂O₅, cuja dose de máxima eficiência agrônômica foi calculada por meio da derivada primeira da equação e correspondeu a 234,58 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 2).

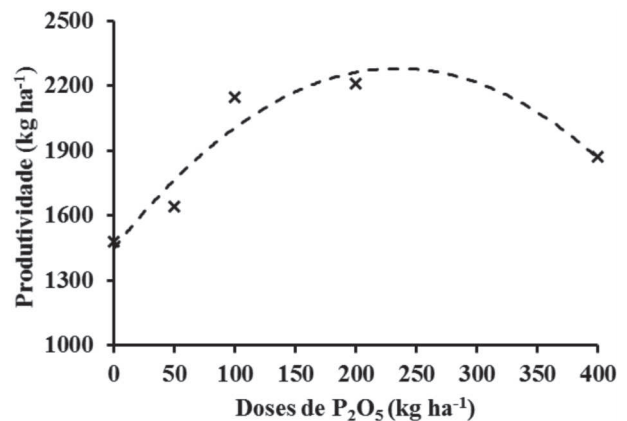


Figura 2: Produtividade grãos de feijão, em função das doses de P₂O₅. $y = 1448,9 + 7,0844x - 0,0151x^2$, $R^2 = 0,90$.

CONCLUSÕES

Nas condições edafoclimáticas em que foi desenvolvida esta pesquisa, pode-se concluir que:

A adubação fosfatada e o cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu como planta de cobertura proporcionam aumento dos teores de P-lábil do solo, aos 15 e 30 DAS do feijoeiro, e de P-plábil do solo somente aos 15 DAS do feijoeiro.

A utilização de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, como planta de cobertura, aumenta os teores de P da folha do feijoeiro, com consequente ganho de 18% da produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- Almeida DS (2014) Disponibilidade de fósforo em solo cultivado com braquiária em rotação com soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 80p.
- Amaral CB, Pinto CC, Flores JA, Mingotte FLC, Lemos LB & Fornasieri Filho D (2016) Produtividade e qualidade do feijoeiro cultivado sobre palhadas de gramíneas e adubado com nitrogênio em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51:1602-1609.
- Brookes PC & Powlson DS (1982) Preventing phosphorus losses during perchloric acid digestion of sodium bicarbonate soil extracts. Journal of Science and Food Agriculture, 32:671-674.
- Carvalho AM (2010) Plantio direto com qualidade no cerrado. Disponível em: <www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/242/>. Acessado em: 22 de julho de 2014.

- CONAB (2016) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_09_12_08_19_boletim_graos_agosto_2016.pdf>. Acessado em: 31 de agosto de 2016.
- Condron LM, Goh KM & Newman RH (1985) Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by
- ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of Soil Science*, 36:199-207.
- Conte E, Anghinoni I & Rheinheimer DS (2003) Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:893-900.
- Dick WA & Tabatabai MA (1977) Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *Journal of Environmental Quality*, 6:82-85.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 623 p.
- Fageria NK & Santos AB (1998) Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, 2:124-127.
- Fageria NK, Oliveira IP & Dutra LG (1996) Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções. Goiânia, Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. 40p. (Documentos, 65).
- Hedley MJ, Stewart JWB & Chauhan BS (1982) 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.
- Malavolta E, Vitti GC & Oliveira AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba, Potafos. 319p.
- Merlin A, He ZL & Rosolem CA (2013) Ruzigrass affecting soil-phosphorus availability. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48:1583-1588.
- Murphy J & Riley JP (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27:31-36.
- Pavinato PS, Merlin A & Rosolem CA (2009) Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. *Soil and Tillage Research*, 105:149-155.
- Rossi CQ, Pereira MG, Giacomini SG, Betta M & Polidoro JC (2013) Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. *Semina*, 34:1523-1534.
- Shen J, Yuan L, Zhang J, Li H, Bai Z, Chen X, Zhang W & Zhang F (2011) Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology*, 156:997-1005.
- Sousa DMG & Lobato E (2003) Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, Potafós. 16p. (Informações Agro-nômicas, 102).
- Tiessen H, Stewart JWB & Cole CV (1984) Pathways of phosphorus transformation in soils of differing pedogenesis. *Soil Science*, 48:853-858.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency (1971) Methods of chemical analysis for water and wastes. Cincinnati, USEPA. 312p.