

Adubação fosfatada no sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins

Leonardo Santos Collier¹
Marcus André Ribeiro Correia²
Leandro Nogueira Ramos³
Renato de Mello Prado⁴
Rilner Alves Flores³
Thomas Vieira Nunes³

RESUMO

Este trabalho foi realizado em área de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com 30% de argila, Gurupi (TO) tendo como objetivo testar fontes e modos de aplicação de fósforo em plantio direto de milho. Utilizou-se delineamento em parcelas subdivididas com dois modos de aplicação da adubação: sulco simples (SS) e a lanço, localizado em faixa (F) nas parcelas e duas fontes de fósforo: superfosfato simples (SFS) e fosfato natural reativo (FNA) nas subparcelas, ambos na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sobre os resíduos de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) semeado 70 dias antes do plantio. Os tratamentos submetidos à aplicação em (F) resultaram em maior produtividade de grãos em relação à aplicação no sulco. Não houve diferença significativa na produção de milho (*Zea mays* L.) entre as fontes de P aplicadas. O FNA forneceu resultados equivalentes ao SFS, mesmo com sua solubilização mais lenta. O fósforo residual no solo após o cultivo foi maior quando se utilizou ARAD, sem significância estatística para SS. Os teores de K na camada de 7,5 a 15 cm do solo diferiram significativamente entre as fontes. Conclui-se que o FNA foi mais eficiente na produtividade de grãos quando aplicado em F, e os teores de matéria orgânica observados após o cultivo confirmam a sua influência e dos resíduos da cultura de cobertura na melhor efetividade dessa fonte sobre a palhada utilizada em plantio direto, nas condições estudadas.

Palavras chave: Adubação fosfatada, fosfato natural reativo, plantio direto

ABSTRACT

In-furrow and broadcast phosphorus fertilization over legume straw and no-till corn yield in Tocantins

This work had as objective to compare phosphorus sources and application forms. The experiment was carried out in dystrophic Red Yellow Latosol (Oxisol), with 30% clay, in Gurupi (TO). The experiment was a split-plot arranged in a randomized complete block design with four replicates: in the plots, the phosphate was placed in furrow and broadcasted over dry *Canavalia ensiformis* straw sowed 70 days before; and in the subplots two sources of phosphorus, natural reactive phosphate (FNA) and single superphosphate (SFS), both with 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅. The broadcast treatment gave higher corn (*Zea mays* L.) grain yield compared with phosphorus placed in furrow. There was no significant difference in corn yield between phosphorus fertilizers, showing that yield with FNA was the same as SFS, even with

¹ Universidade Federal do Tocantins (UFT), C.P. 66, Centro Universitário de Gurupi, CEP 77402-970, Gurupi-TO. E-mail: leonardo@uft.edu.br

² Mestrando da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, E-mail: marcusribeiro@uft.edu.br

³ Universidade Federal do Tocantins, E-mail: leandronogr@uft.edu.br, rilneralves@uft.edu.br, nunestv@uft.edu.br

⁴ Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp. Via de Acesso Paulo D. Castellane, s/n. 14870-000, Jaboticabal-SP. E-mail: rmp Prado@fcav.unesp.br

lower solubility. Residual phosphorus in soil after corn harvest was higher when (FNA) was used, without statistical difference from SS. K levels in the 7.5-15 cm soil depth were different between the fertilizers. It was concluded that broadcasted (FNA) was more efficient as phosphorus fertilizer for corn grain yield, and the levels of organic matter in the soil after harvest confirm its effect as well as the cover crop residue on the better effectiveness of this phosphorus source on the straw used in no-tillage cultivation under the studied conditions.

Key words: phosphorus fertilizer, natural reactive phosphate, no-tillage cultivation.

INTRODUÇÃO

O preparo intensivo dos solos do cerrado e sistema de cultivo convencional, associado ao monocultivo de soja e milho, leva à pulverização da sua camada superficial e ao surgimento de camadas compactadas, aumentando a erosão, que chega a perdas de até 1,8 bilhão de toneladas de solo por ano (Freitas & Castro, 1980), e queda de produtividade (Cardoso, 1993), além da redução nos teores de matéria orgânica, especialmente nos solos com menos de 30% de argila, alterando assim a dinâmica da água e a eficiência dos fertilizantes aplicados. O sistema de plantio direto na palha (SPD) possibilita a preservação de maior quantidade de resíduos, elevando o teor de matéria orgânica, importante na estruturação e na manutenção da umidade do solo, além da participação expressiva na CTC de solos do cerrado, que são naturalmente bastante intemperizados (Ker *et al.*, 1992).

Apesar da maioria dos trabalhos envolvendo o manejo dos solos sob SPD com rotação de culturas destacarem a região Centro-Sul do País, as áreas abertas a partir da expansão da fronteira agrícola no final da década de 1970 em solo sob cerrado e que hoje adotam o SPD vêm indicando a necessidade de se rever seu manejo. A redução da resposta às adubações nos cultivos sucessivos de monocultura de soja e milho, principalmente, vêm mostrando necessidade de manejo mais adequado de fertilizantes e corretivos (Cravo & Smyth, 1997), em que os sistemas de rotação de cultura sob SPD podem determinar mudanças nas propriedades químicas do solo, cujos efeitos se refletem diretamente na fertilidade e eficiência de aproveitamento dos nutrientes pelas plantas.

Entre esses nutrientes enfatiza-se o fósforo, cuja disponibilidade em condições naturais é muito baixa nos solos de cerrado, devido aos mecanismos que causam sua retenção (Lopes, 1993), e o efeito do revolvimento do solo no preparo convencional que proporciona maior superfície de contato entre os íons de fosfato e os colóides, contribuindo com a gravidade do problema. Ainda assim, as alterações no arrançamento das partículas e a maior amplitude na variação do teor de umidade do solo afetam

o mecanismo de difusão, sendo que no SPD a ausência de revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície e no perfil possibilitam a redistribuição de P em formas orgânicas mais estáveis e menos suscetíveis às perdas por retenção, sendo observado o aumento da percentagem de P-orgânico em relação ao P-total (Souza & Lobato, 2000). Em solos sob longo período em SPD, acredita-se que a fração orgânica de P passa a ser o reservatório principal de reabastecimento do íon fosfato para a solução do solo (Sá, 1999). Canellas *et al.* (2004) verifica que a formação de ligações di-éster fosfato na camada superficial de solo cultivado com leguminosas herbáceas perenes esteve relacionado ao aumento de P disponível. Segundo Martins & Gonçalves, (2000), o estudo da adsorção é pertinente para o entendimento do comportamento do fósforo no perfil do solo, tendo tal conhecimento passado a subsidiar o uso de fertilizantes fosfatados de diferentes solubilidades (solúveis, pouco solúveis e insolúveis).

Dados de produção de soja nos trabalhos de Sá (1997) indicaram resposta a P na dose de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (2.814 kg ha⁻¹) sem diferença para dose de 120 kg ha⁻¹ (2.869 kg ha⁻¹), o que implica numa economia de adubação no SPD. Com relação a fontes empregadas, Souza & Lobato (2000) mostram que no SPD as produtividades de grãos de soja foram inferiores às do cultivo convencional, quando a fonte de fósforo usada foi o fósforo natural, o que evidencia a importância do revolvimento do solo na eficiência do fosfato natural.

A forma de aplicação de fósforo em relação à distribuição do sistema radicular da cultura influenciará na eficiência do aproveitamento do elemento pelas plantas. Nesse sentido, Prado *et al.* (2001) obtiveram diferenças de até 1,34 Mg ha⁻¹ de grãos de milho quando utilizaram aplicação de 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em dois lados do sistema radicular (sulco duplo), comparado a aplicação em sulco em apenas um lado da planta.

Com base em tais considerações o objetivo deste trabalho foi testar fontes e modos de aplicação de fósforo em plantio direto de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins (Gurupi-TO), localizada a 11°43'S e 49°04'N, 280 m de altitude, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com menos de 30% de argila. Na área experimental utilizou-se a palhada remanescente de cultivo de milho em trabalho com sistema plantio direto em desenvolvimento na UFT, onde o primeiro plantio sem revolvimento do solo foi a partir de setembro de 2001.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com os tratamentos principais distribuídos em blocos ao acaso. As parcelas foram constituídas por dois modos de aplicação da adubação fosfatada, uma localizada no fundo do sulco de semeadura, em sulco simples (SS), e a outra em faixa (F), distribuída em faixa sob superfície do sulco de semeadura. As sub-parcelas receberam duas fontes de fósforo: superfosfato simples (SFS) e fosfato natural reativo (FNA), ambos na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

As doses de K₂O e N foram de 120 e 200 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo o K₂O dividido em duas aplicações: na semeadura e em cobertura após 30 dias da primeira aplicação na forma de cloreto de potássio. O nitrogênio foi dividido em três aplicações, sendo 40 kg ha⁻¹ de N no plantio e 160 kg ha⁻¹ de N divididos em duas vezes com intervalo de 30 dias entre elas na forma de sulfato de amônio em superfície sem incorporação.

As parcelas apresentaram três fileiras de milho espaçadas a 0,80 m da largura e 15 m de comprimento, totalizando 36 m². Cada bloco com 224 m², e a área total de 896 m².

Foi retirada amostra de solo para análise química apresentando as seguintes características: pH em CaCl₂ 5,06; Ca 26,5; Mg 5,8; H+Al 27,1; e Al 0,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente; e K 68,62 e P 2,51 mg dm⁻³. Para correção da acidez foi realizada calagem na quantidade de 1,0 Mg ha⁻¹ a lanço sem incorporação antes da semeadura dos adubos verdes. A semeadura do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) foi realizada no dia 20 de outubro, utilizando o espaçamento de 0,30 m entre fileiras. Antes de dessecar, foram retiradas amostras do feijão-de-porco para análise química, visando quantificar os nutrientes presentes na sua biomassa. A quantificação da palhada para cobertura foi realizada com a retirada do material no campo antes de dessecar utilizando um quadrado metálico com dimensão de 0,5 m² em quatro repetições. Esse material foi seco em estufa, na temperatura de 70 °C, até atingir peso constante.

Ao final do ciclo do milho (*Zea mays* L.), foi avaliada a produção de grãos e quantificado o peso de matéria seca, bem como feita amostragem desse material para análise

química foliar avaliando os teores de fósforo nas diferentes partes da planta. Foi realizada a amostragem de solo para análise química, empregando a metodologia da Embrapa (1997), tendo em vista balanço de P entre a adubação e a extração pelas culturas. Utilizando-se o teste F para análise de variância e o de Tukey para comparação das médias.

Para avaliar os efeitos dos tratamentos na produção de grãos, a matéria seca do milho e os parâmetros da fertilidade do solo, empregou-se o software ESTAT 2.0.

O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y = m + b_j + M_i + e_{ij} + F_k + M_i F_k + \delta_{ijk}$$

em que:

m = média geral do experimento;

b_j = efeito do bloco j;

M_i = modos de aplicação i;

e_{ij} = variação do acaso entre parcelas;

F_k = efeito da fonte k;

M_iF_k = efeito da interação modos de aplicação fontes; e

δ_{ijk} = variação do acaso entre sub-parcelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na decomposição da palhada de feijão-de-porco indicaram que não houve diferença significativa nas seguintes fontes: fosfato natural reativo (FNA) e superfosfato simples (SFS), bem como nos modos de aplicação sulco simples (SS) e faixa (F) (Figura 1). O peso inicial de palhada do feijão de porco no momento da dessecação obteve 7.055 kg ha⁻¹ após 60 dias de desenvolvimento da cultura. O peso de matéria seca de palha, considerando o potencial para planta de cobertura em sistemas de plantio direto, é bastante expressivo quando comparado com os resultados obtidos por (Silva *et al.*, 2003) na mesma região com a cultura de Sorgo, obtendo 9.435 kg ha⁻¹ de matéria seca em período de crescimento de mais de 90 dias.

A velocidade de decomposição do feijão de porco foi bastante intensa, ocorrendo em um prazo de 50 dias média de 91% de perda da palhada por decomposição na área. Essa atividade microbiológica é explicada pela composição nutricional da palhada (Tabela 1) que, calculada sua relação C/N (14,9:1), influenciou a ação da microbiota do solo. Destacam-se também os aportes elevados de Ca e K que os resíduos de feijão-de-porco estariam disponibilizando para o solo durante a decomposição (Tabela 1).

A explicação para este resultado está no intenso período chuvoso na área experimental (1.449 mm em quatro meses), aumentando a velocidade de incorporação dos fertilizantes no solo, o que contribui para ação dos mi-

Tabela 1. Macronutrientes na palhada da parte aérea de feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.)

N	P	K	Ca	Mg	S
Teor de macronutrientes (g kg ⁻¹)					
38,8	2,4	123,8	20,0	3,1	2,1
Aporte de macronutrientes na biomassa (kg ha ⁻¹)					
273,7	16,9	167,9	141,1	21,9	14,8

crorganismos decompositores que aceleram sua velocidade de transformação da palhada presente, independentemente da fonte e modo de aplicação empregados. O P em contato com esses resíduos pode facilitar ainda mais o processo. Além de essa palhada ter uma relação C/N estreita e ser um material de fácil decomposição, sua natureza nutricional também está contribuindo para acelerar o processo (Figura 1).

Observando a Figura 1, ocorreu maior decaimento da massa seca de resíduos de feijão de porco quando se confrontam o superfosfato simples em faixa com o fosfato natural reativo em faixa. Esse resultado sugere maior decomposição de palhada com a fonte mais solúvel, por disponibilizar mais P para o trabalho microbiano de decomposição da palhada. Onde não houve incorporação do SFS, o maior contato com a palhada pode ter diminuído sua adsorção à fração coloidal mineral do solo, ajudando na decomposição da palhada da leguminosa. O FNA em faixa, que já apresenta naturalmente menor solubilização (Novais & Smith, 1999), a diminui por apresentar menor contato com a solução do solo, contribuindo menos para ação microbiológica de decomposição da palhada.

Ao final do cultivo do milho (100 a 125 dias), nota-se que as fontes aplicadas em (F) contribuíram de forma mais efetiva na decomposição da palha de feijão de porco (Figura 1), constatando a eficiência da aplicação dos fertilizantes sobre a superfície em faixa na maior liberação de P, o que acelera a ação microbiana em relação à aplicação no sulco, em que os processos de adsorção de P são mais

intensos, em virtude do maior contato dos fertilizantes com a fase mineral do solo. Acredita-se que esse efeito tenha sido mais evidente para a fonte FNA no final do período acompanhado, possivelmente por sua solubilização ocorrer em longo prazo (Moreira & Siqueira, 2002).

Avaliando a produção de milho, não foi obtida diferença significativa entre as fontes de fósforo empregadas; no entanto, é importante ressaltar que o tratamento com a fonte SFS superou em 1.072,4 kg ha⁻¹ comparado com a fonte FNA (Tabela 2). Resultados desse tipo também foram obtidos por Resende *et al.* (2006), que os obteve favoráveis para os fosfatos naturais somente após três anos em argissolo distrófico do cerrado de Minas Gerais. Acredita-se que devido à velocidade de solubilização do SFS ser mais imediata às exigências da cultura, em vantagem sobre FNA, que não disponibilizou quantidade equivalente de fósforo no mesmo período. Essa diferença torna-se ainda maior quando o FNA foi disposto no sulco, o que pode ter aumentado sua solubilização e sua adsorção, tornando o P ainda menos disponível às culturas (Novais & Smith, 1999).

Quando se avaliou a produção dentro dos modos de aplicação houve diferença significativa, tendo os tratamentos com aplicação em faixa obtido maiores produtividades de grãos, comparados com aqueles no sulco (Tabela 2). Esse resultado seria devido ao maior tempo de contato da forma de fosfato com os colóides do solo, elevando sua solubilidade, aumentando o processo de fixação do fósforo pelos mecanismos de adsorção desse nutriente na fase mineral do solo, o que diminui sua disponibilidade para as plantas, conseqüentemente reduz a produtividade dos tratamentos submetidos ao modo de aplicação no sulco de plantio (Novais & Smith, 1999). Resultados semelhantes foram obtidos com o fosfato de Gafsa empregado a lançar em trabalhos com soja, porém com menores produtividades quando usado no sulco (Motomiya *et al.*, 2004).

Nos tratamentos com aplicação em faixa, a matéria orgânica pode estar auxiliando na superioridade desses em relação à aplicação no sulco simples, considerando que os resíduos do feijão de porco podem provocar redução do P-inorgânico, levando a maior participação do P-orgânico no suprimento deste nutriente para a planta, devido à cultura de cobertura apresentar na sua constituição química parte de P-orgânico na qual não estaria decres-

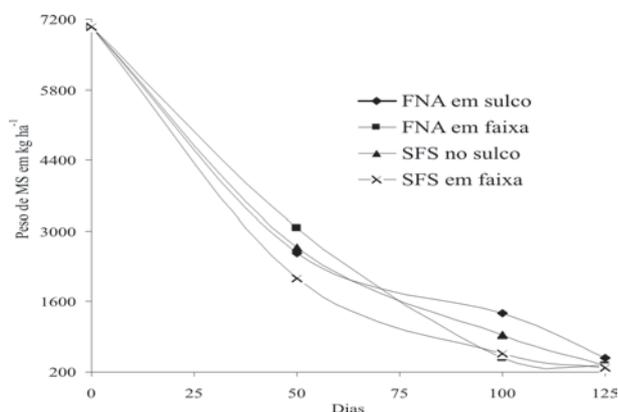
**Figura 1.** Massa de matéria seca (MS) de resíduos de feijão de porco ao longo do ciclo de cultivo do milho

Tabela 2. Efeito de fontes e modos de aplicação de fósforo na produtividade de grãos de milho em kg ha⁻¹ num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na região sul do Tocantins

Fontes de P ₂ O ₅	Modos de Aplicação		
	(SS)	(F) a lanço	Médias
(FNA)	2142,38 b B	5593,41 a A	3867,89
SFS	5162,13 a A	4718,51 a A	4940,32
Médias	3652,25	5155,96	
Teste F Modos		70,59**	
Teste F Fontes		12,01 ^{ns}	
Teste F MxF		113,89**	

FNA = Fósforo natural reativo, SFS= Fósforo solúvel na forma de superfosfato simples, (SS) = aplicação em sulcos simples, (F) = aplicação em faixa. Coeficiente de variação para parcelas =12,33%, e coeficiente de variação para sub-parcelas =7,10%. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si a 5 % de significância de Tukey.

cendo ao estar em sincronia com a mineralização pela atividade enzimática da biomassa microbiana (Duda *et al.*, 2003; Heinrichs *et al.*, 2005). O modo de aplicação reforça esta explicação, considerando o não contato direto do P-inorgânico com os colóides do solo reduzindo parte do fator capacidade de adsorção de fósforo, em que resultaria num aumento de disponibilidade deste elemento, pois nessa classe de solo é característica marcante a pobreza em razão do elevado grau de intemperismo do solo e do tipo de argila sesquioxídica, trazendo assim um acréscimo na produtividade.

Quando se avaliou a produção de grãos dentro de cada fonte de P, os modos de aplicação diferiram estatisticamente para fonte FNA, em que a aplicação em faixa obteve superioridade na produção de grãos de milho, comparada com a aplicação em sulco simples incorporado (Tabela 2). Incorporando FNA, aumenta o contato do fertilizante com os colóides do solo, possibilitando maior velocidade na formação da fração fósforo não-lábil, devido ao fertilizante ser de lenta solubilização; no entanto, ao ser incorporado, o processo de adsorção aumenta, quando o pouco que se solubiliza parte é retida pelo solo e a planta absorve a outra parte, o que não é suficiente para atingir sua produtividade máxima. A não-incorporação do fertilizante diminui o contato com a fase mineral do solo, reduzindo os processos de adsorção pelos colóides do solo, podendo melhorar a disponibilidade de P, pois o fósforo natural em contato direto com os resíduos de feijão de porco e a matéria orgânica aumentam a biomassa de P, o que poderia acarretar em maior liberação de formas orgânicas mais estáveis e menos susceptíveis às perdas por retenção, contribuindo mais na disponibilidade para as plantas (Duda *et al.*, 2003). Além da mineralização do fósforo orgânico presente nos resíduos, por meio dos processos enzimáticos da biomassa microbiana gera uma acidez, que estaria melhorando a solubilidade da fonte natural, conseqüentemente disponibilizando maiores níveis de

P para as plantas, o que melhora seu desenvolvimento (Faria *et al.*, 2004).

Ao avaliar a produção entre as fontes de P, essas diferiram estatisticamente no modo de aplicação em sulco simples, destacando a superioridade da fonte SFS na produção de grãos de milho em relação ao FNA (Tabela 2). Essa fonte de menor solubilidade, quando incorporada ao solo de cerrado característico de argila do tipo sexquioxídica compromete seu fornecimento de P para a cultura, que, segundo Martins & Gonçalves (2000) e Novais & Smith (1999), está relacionado aos mecanismos de adsorção que atuam sobre ela, retendo na fase mineral do solo a maior parte do fósforo solubilizado, não contribuindo para a planta atingir sua produtividade máxima. Com a fonte SFS, de maior solubilidade, mesmo ocorrendo os processos de adsorção de P, essa contribuiu de forma mais efetiva aumentando a produção de grãos da cultura do milho.

Na avaliação da produção de matéria seca de milho visando formação de palhada para o SPD, não ocorreu efeito significativo entre os modos de aplicação para fonte SFS. A produção de matéria seca de milho (Tabela 3) seguiu as tendências de produtividade de grãos (Tabela 2), porém sem significância estatística, ressaltando que em quantidade de 6 Mg ha⁻¹ sob superfície no SPD é considerado um aporte adequado de palhada (Alvarenga *et al.*, 2001). A produção de massa seca no tratamento FNA em sulco simples expressa as mesmas limitações ocorridas para absorção de P e produção de grãos, principalmente quando confrontada com o tratamento com SF em sulco simples.

Quando se analisam as características da fertilidade do solo, o P é o elemento de maior interesse. Entre os tratamentos estudados, o P assimilável do solo após a colheita do milho demonstrou que a adubação fosfatada, submetida ao modo de aplicação em faixa, apresentou maior quantidade de P-residual após o cultivo da cultura (Tabela 4), independentemente da fonte empregada. Uma pro-

Tabela 3. Efeito de fontes e modos de aplicação de fósforo na produção de matéria seca de milho em kg ha⁻¹ num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na região sul do Tocantins

Fontes de P ₂ O ₅	Modos de Aplicação		
	(SS)	(F) a lanço	Médias
FNA	8292,423	9522,435	8907,429
SFS	10319,18	8900,659	9609,921
Médias	9305,803	9211,547	

FNA = Fosfato natural reativo, SFS = Fosfato solúvel na forma de superfosfato simples, (SS) = aplicação no sulco simples, (F) = aplicação em faixa. Coeficiente de variação para parcelas = 18,69% Coeficiente de variação para sub-parcelas = 21,90%. Dados não significativos a 5% de significância pelo teste F.

vável explicação para esse resultado seria o contato desses fertilizantes com a matéria orgânica presente no solo, em que a adição dos fertilizantes químicos altera o conteúdo de fósforo da biomassa microbiana do solo, e parte do P-inorgânico pode ser temporariamente imobilizado como P-orgânico, sendo um meio de reduzir a adsorção do fósforo aos colóides inorgânicos do solo (Rheinheimer, 2000). É importante ressaltar que a produção de palhada de feijão-de-porco pode ter influenciado na liberação de P para a cultura do milho, considerando os nutrientes presentes na sua biomassa, onde no sistema plantio direto a ciclagem de P-orgânico pode ser importante fonte de P para as plantas (Faria *et al.*, 2004; Giacomini *et al.*, 2003; Rheinheimer, 2000).

Os tratamentos com aplicação dos fertilizantes no sulco de plantio demonstraram menor quantidade de P-residual (Tabela 4). A provável explicação para esse resultado seria a baixa mobilidade de P no solo, favorecendo o acúmulo de P nas camadas mais superficiais em que os teores de P pelo Mehlich-1 ou resina aumentam com o tempo, principalmente nas camadas de 5 a 10 cm de profundidade (Oliveira *et al.*, 2002), onde, devido ao não revolvimento do solo, apresentaram menor

solubilização ou não foram adsorvidos onde o contato direto dos fertilizantes com a fase mineral do solo aumenta os processos de adsorção de P-lábil nas formas não-lábeis, dificultando a quantificação desses pelo extrator utilizado.

Dentro do modo de aplicação em faixa, é importante enfatizar que o FNA conseguiu manter o mesmo teor de fósforo-residual no solo quando comparado com SFS (Tabela 4), mesmo atingindo maior produtividade de grãos de milho (Tabela 2).

Segundo Korndörfer *et al.* (2000), como consequência das reações de adsorção e apesar das grandes diferenças de solubilidade entre os vários fosfatos naturais, esses, de modo geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis em curto prazo, porém em longo prazo seu efeito residual é geralmente maior. Provavelmente esses fertilizantes, ao sofrerem o efeito de imobilização pela matéria orgânica, e o FNA, por ser de menor solubilidade, estariam se beneficiando por reduzir os processos de fixação pela fase mineral do solo, onde, após a mineralização de formas menos lábeis contidas na matéria orgânica, proporcionariam maiores teores do nutriente para a planta, beneficiando sua produtividade.

Tabela 4. Características químicas do solo em duas camadas 0-7,5 e 7,5-15 cm de profundidade após cultivo de milho em um Latossolo Vermelho-Amarelo no sul do Tocantins

Tratamentos	camada	M.O. (g dm ⁻³)	pH	P-Mel (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg (cmmol _c dm ⁻³)	H+Al
	(cm)							
SFS em SS	0-7,5	24,2	4,9	24,3	78,6	33	14	37
	7,5-15	19	4,8	36,4	88,5**	36	15	45
SFS em F	0-7,5	27,2	5,3	24,3	54,6	31	14	43
	7,5-15	17,5	4,7	18,4	52,5**	26	11	38
FNA em SS	0-7,5	25,5	4,8	65,2	127,6	42	10	43
	7,5-15	20	4,5	27,2	81,7**	32	14	52
FNA em F	0-7,5	35,2	4,8	47	105	40	17	42
	7,5-15	19,7	4,6	20,9	68,5**	31	14	48

(*) Significativo a 5% e (**) significativo a 1% de probabilidade na coluna em mesma profundidade. SFS - superfosfato simples, FNA - fosfato natural reativo, SS - aplicação do fertilizante em sulco simples de plantio, e F - aplicação do fertilizante em faixa sob a palhada na superfície do sulco.

Embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre P residual (pelo extrator de Mehlich), os valores obtidos quando se empregou FNA duas vezes superiores aos da fonte SFS quando a lançou e duas vezes e meia quando usou no sulco. Mesmo que existam relatos de que o extrator de Mehlich poderia superestimar o P quando de fontes naturais (Novais & Smith, 1999), a diferença é bastante expressiva quando se projeta a continuidade do sistema de plantio no próximo ano agrícola, representando possível redução nos custos da adubação fosfatada.

Os resultados obtidos na análise indicaram que o potássio K em profundidade (7,5-15 cm) diferenciou-se estatisticamente. Acredita-se que a relação Ca/K influenciou nesse resultado, considerando que as fontes fosfatadas utilizadas na adubação de P possuem teores de Ca em suas composições. Nos tratamentos em que o FNA foi utilizado houve maior quantidade de K residual no solo. Uma provável explicação para esse resultado seria o maior teor de Ca (33%) presente no FNA, superando o SFS que possui de 18 a 20% de Ca, onde o teor deste nutriente pode ter influenciado na lixiviação do K para maiores profundidades, explicado pelo efeito da valência supracitada. Segundo Alvarenga & Lopes (1988), há preferência de Ca e Mg sobre o K na superfície do solo, explicada pelo efeito da valência, pois os equilíbrios de troca de íons envolvendo Ca/K e Ca/Mg mostraram que Ca e Mg são preferencialmente retidos na superfície, enquanto o K é preferencialmente retido no subsolo.

Mesmo não demonstrando diferença significativa nos teores de matéria orgânica, é importante enfatizar que o tratamento submetido à aplicação de FNA em faixa superou os demais no teor de matéria orgânica, devido à obtenção de um aporte de palha de milho considerável (Tabela 3), quando comparado com a quantidade adequada para o SPD relatado por Alvarenga *et al.* (2001).

O tratamento submetido à aplicação de SFS em faixa demonstrou maior acidez potencial quando comparado com os demais (Tabela 4), podendo ser explicado pela característica química da fonte solúvel por ser de caráter ácido auxiliando no aumento da acidez em superfície, além da matéria orgânica ao ser mineralizada gerar certa acidez, que pode ter influenciado neste resultado, mesmo que os níveis de acidez não tenham diferido estatisticamente.

CONCLUSÕES

A aplicação de fosfato natural em faixa possibilitou menor decomposição inicial de palhada e elevação dos teores de matéria orgânica e fósforo em relação ao uso do superfosfato simples (SFS); entretanto, a cobertura morta final foi semelhante.

O emprego do modo de aplicação do fósforo em faixa resultou em maior produção de grãos, independentemente da fonte de P.

O uso do fosfato natural reativo (FNA) proporcionou maior produção de grãos no tratamento submetido ao modo de aplicação em faixa.

Pelo maior teor de P no solo quando se utilizou o fosfato natural reativo (FNA), sugere-se que ocorra economia de fertilizantes fosfatados para o próximo cultivo.

REFERÊNCIAS

- Alvarenga MIN & Lopes AS (1988) Influência da adubação potássica no equilíbrio de cátions em latossolo roxo distrófico, fase cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 23:347-55.
- Alvarenga RC, Cabezas WAL & Cruz DP (2001) Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, 22: 25-36.
- Canellas LP, Espindola JAA, Guerra JGM, Teixeira MG, Velloso ACX & Rumjanek VM (2004) Phosphorus analysis in soil under herbaceous perennial leguminous cover by nuclear magnetic spectroscopy. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:589-596.
- Cardoso AN (1993) Manejo e conservação do solo na cultura da soja. In: Arantes NE & Souza PIM (eds.) *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba, POTAFOS, p. 71-104.
- Cravo MS & Smyth TJ (1997) Manejo sustentado da fertilidade de latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:607-616.
- Duda GP, Guerra JGM, Monteiro MT, De-Polli H & Teixeira MG (2003) Leguminosas herbáceas perenes como cobertura viva do solo e seu efeito no C, N e P da biomassa microbiana. *Scientia Agricola*, 60:139-147.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997) *Manual de métodos e análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro, 212p.
- Faria CMB, Soares JM & Leão PCS (2004) Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:641-648.
- Freitas PL & Castro AF (1980) Estimativas das perdas de solo e nutrientes por erosão no estado do Paraná. In: *Encontro Brasileiro de Conservação do Solo*, 3, 1980, Brasília. Resumos. Brasília: SBCS, p. 262-268.
- Giacomini SJ, Aita C, Hubner AP, Lunkes A, Guidini E & Amaral EB (2003) Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1097-1104.
- Heinrichs R, Vitti GC, Moreira A, Figueiredo PAM, Fancelli AL & Corazza EJ (2005) Características químicas do solo e rendimento da fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:71-79.
- Ker CS, Pereira NR, Carvalho Junior W & Carvalho Filho A (1992) Cerrados: Solos, aptidão e potencialidade agrícola. In: Costa VC & Borges VCL, *Simpósio Sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado, Goiânia, 1990*. Anais. Fundação Cargill. p. 1-31.
- Kondröfer GH, Cabezas WAL & Horowitz N (2000) Eficiência agrônômica de fosfatos naturais estrangeiros na cultura do milho. In: *II FertBio, Santa Maria*. Anais. UFSM/SBCS. (CD-ROOM).
- Lopes AS (1993) Solo sob "cerrado": características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS. 162p.
- Martins JR & Gonçalves CN (2000) Estudo da adsorção de fósforo em diferentes profundidades de um solo sob cultivo convencional e plantio direto. In: *II FertBio, Santa Maria*. Anais. UFSM/SBCS. (CD-ROOM).

- Moreira FMS & Siqueira JO (2002) Microbiologia e bioquímica do solo. UFLA, Lavras. 625p.
- Motomiya WR, Fabrício AC, Marcheti ME, Gonçalves MC, Robaina AD & Novelino JO (2004) Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:307-312.
- Novais RF & Smith TJ (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, DPS/Universidade Federal de Viçosa. 399p.
- Oliveira FHT, Novais RF, Alvarez VVH, Cantarutti RB & Barros NF (2002) Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: Alvarez VVH, Barros NF, Costa LM, Mello JWV & Schaefer CEGR (eds) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, SBCS, vol.II, p.393-486.
- Prado RM, Fernandes FM & Roque CG (2001) Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:83-90.
- Resende AV, Furtini Neto AE, Alves VMC, Muniz JA, Curi N & Lago FJ (2006) Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. *Lavras. Ciência e Agrotecnologia*, 30:458-466.
- Rheinheimer DS (2000). Fósforo microbiano do solo sob sistema de plantio direto afetado pela adição fosfato. Departamento de Solos. In: II FertBio, Santa Maria. Anais, UFSM/SBCS. (CD-ROOM).
- Sá JCM (1997) Parâmetros para recomendação de calagem e adubação no sistema plantio direto. In: II Conferência Anual de Plantio Direto. Resumos de Palestras. Passo Fundo. Aldeia Norte Editora. p. 63-81.
- Sá JCM (1999) Adubação com fósforo no sistema plantio direto. In: Inter Relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas. SBCS/UFLA, DCS. Lavras, p.311-317.
- Silva FL, Collier LS, Laurindo PC, Mendes MM & Fischer EC (2003) Potencial de restituição de nutrientes através de plantas de cobertura em plantio direto no Tocantins. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto. Anais. ESALQ/UNESP/SBCS. (CD-ROOM).
- Souza DMG & Lobato E (2000). Manejo da fertilidade do Solo no Plantio Direto. Experiência no Cerrado. In: II FertBio, Santa Maria. Anais. UFSM/SBCS. (CD-ROOM).