

DENIZE CARVALHO MARTINS

**ADUBAÇÃO FOSFATADA ORGANOMINERAL NO CULTIVO DE
GRÃOS EM SOLOS DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M386a
2018
Martins, Denize Carvalho, 1987-
Adubação fosfatada organomineral no cultivo de grãos em
solos de fertilidade construída / Denize Carvalho Martins. –
Viçosa, MG, 2018.
vii, 45f. : il. ; 29 cm.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Grãos - Adubos e fertilizantes. 2. Fertilizantes fosfatados.
3. Plantas - Efeito do fósforo. 4. Resíduos de animais -
Reaproveitamento. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.

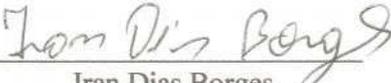
CDD 22. ed. 633.1895

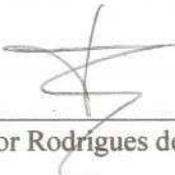
DENIZE CARVALHO MARTINS

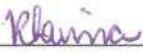
**ADUBAÇÃO FOSFATADA ORGANOMINERAL NO CULTIVO DE GRÃOS EM
SOLOS DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

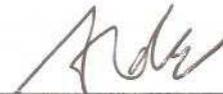
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

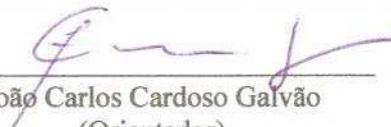
APROVADA: 20 de fevereiro de 2018.


Iran Dias Borges


Igor Rodrigues de Assis


Rodrigo Oliveira de Lima


Álvaro Vilela de Resende
(Coorientador)


João Carlos Cardoso Galvão
(Orientador)

Dedico esta conquista ao meu pai e minha mãe,
João e Marta, meus maiores exemplos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por guiar todos os meus passos.

Aos meus pais João e Marta e a minha irmã Deise pelo incentivo e apoio incondicional.

Ao Dodô, pelo amor, amizade, apoio, compreensão e paciência.

Ao meu orientador Prof. João Carlos Cardoso Galvão, pela confiança, incentivo, amizade e pelos ensinamentos para minha vida profissional e pessoal.

Ao meu coorientador Dr. Álvaro Vilela de Resende, pelo valioso apoio durante o planejamento e condução do experimento, confiança e ensinamentos.

A Embrapa Milho e Sorgo, pela disponibilização de todos os recursos para a realização deste trabalho, incluindo os funcionários.

À CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À UFV pela oportunidade para que eu pudesse realizar este sonho.

Aos funcionários do Campo Experimental da Embrapa que me ajudaram no desenvolvimento de todo o experimento, em especial ao Saulo, Magno, Itamar e Paulinho.

A Gabi, Eduardo, Aarón, José Paulo, Vagna, Tatiane, Luana e Carine pela ajuda, amizade, incentivo e convivência.

Aos colegas Luís Arthur, Heider, Adriano e Gabriel pela ajuda na condução do experimento e boa convivência.

Aos colegas de Viçosa, Steliane, Emerson, Lamara e Silvane pela boa convivência e conversas.

Ao pesquisador Dr. Vinicius Benites, pela produção dos fertilizantes organominerais utilizados no trabalho.

A banca examinadora, pela participação e contribuições no trabalho.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

BIOGRAFIA

Filha de Marta Maria de Carvalho e João Ambrósio Martins. Nascida em 20 de fevereiro de 1987, natural de Santana de Pirapama- MG. Estudou durante todo ensino médio e fundamental na Escola Estadual Coronel Domingos Diniz Couto. No segundo semestre de 2007 ingressa na Universidade Federal de Lavras, cursando Agronomia. Forma-se Agrônoma em janeiro de 2012. Ingressa no Mestrado do programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del-Rei em março de 2012, finalizando o mesmo em fevereiro de 2014. Já em março de 2014 ingressa no Doutorado do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Em 01 de fevereiro de 2018 submete a tese para apreciação da banca avaliadora.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
Referências.....	03
ARTIGO 1- Adubação fosfatada organomineral na produção de milho, feijão e soja cultivados em sucessão.....	04
Resumo.....	04
Abstract.....	05
Introdução.....	05
Material e Métodos.....	07
Resultados e Discussão.....	10
Conclusão.....	18
Referências.....	18
Tabelas e Figuras.....	21
ARTIGO 2 - Fontes organominerais granuladas e fósforo residual em cultivos sucessivos de grãos	24
Resumo.....	24
Abstract.....	25
Introdução.....	26
Material e Métodos.....	27
Resultados e Discussão.....	31
Conclusão.....	38
Referências.....	39
Tabelas e figuras	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45

RESUMO

MARTINS, Denize Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Adubação fosfatada organomineral no cultivo de grãos em solos de fertilidade construída.** Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientador: Álvaro Vilela de Resende.

O uso de fertilizantes organominerais vem se destacando na agricultura visando o uso sustentável de recursos, a diminuição do custo de produção e maiores produtividades. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação fosfatada de manutenção com fertilizantes organominerais, combinando cama de frango e fosfatos solúvel ou reativo, na produção de grãos em Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso com fertilidade construída. O experimento foi conduzido em Sete Lagoas-MG, nos anos de 2015 e 2016, utilizando três fontes de fósforo (superfosfato triplo – STP, organomineral com STP e organomineral com fosfato reativo Bayóvar), aplicadas nas doses de 65, 130, 195 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, comparadas ao controle sem adubação fosfatada. Os teores de P disponível no solo foram avaliados antes da instalação do primeiro cultivo e após três cultivos. Foram avaliados os teores de P nas folhas, as produtividades de grãos, o acúmulo do nutriente nos grãos, a produtividade acumulada e a exportação de P acumulada dos três primeiros cultivos. No quarto cultivo, foram avaliados: biomassa e acúmulo de P em plantas de milho no estágio V6, altura final de plantas e espigas, diâmetro do colmo, peso de 1.000 grãos e produtividade de grãos. Os fertilizantes organominerais elevaram a produção de grãos, obtendo-se produtividades médias iguais ou superiores àquelas obtidas com o uso exclusivo de STP. O STP agregado à cama de frango mostra-se mais eficiente em comparação à sua aplicação isolada, resultando no melhor desempenho produtivo do milho no último cultivo e na maior produtividade cumulativa dos quatro cultivos. As fontes organominerais constituem alternativas tecnicamente viáveis para o fornecimento de P nas adubações de manutenção de sistemas de produção de grãos em solo de fertilidade construída.

ABSTRACT

MARTINS, Denize Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february, 2018. **Organomineral phosphate fertilization in the cultivation of grains in a soil with built fertility.** Adviser: João Carlos Cardoso Galvão. Co-adviser: Álvaro Vilela de Resende.

The use of organomineral fertilizers has been emphasizing in agriculture with a view to the sustainable use of resources, reduction of production costs and greater productivity. This study aim to evaluate the effect of maintenance phosphatic fertilization with organomineral fertilizers, combining poultry manure and soluble or reactive phosphate, on corn grain yield and residual effect for subsequent cultivations of beans, soybeans and corn, cultivated in Dystroferric Red Latosol. The experiment was conducted at Sete Lagoas-MG, in the years 2015 and 2016, using three fertilizers with different sources of phosphorus (triple superphosphate - STP, organomineral with SPT and organomineral with Bayóvar phosphate) applied at doses of 65, 130, 195 and 260 kg ha⁻¹ of total P₂O₅, and compared to the control without phosphate fertilization. The leaf P contents, P accumulation in the grains, grain yields, accumulated productivity and export of accumulated P of the crops, besides the fourth crop with corn, were evaluated: biomass and accumulation of P in plants in the V6 stage, final height of plants and ears, shoot diameter and weight of 1.000 grains. The levels of P available in the soil were evaluated before the installation of the first crop and after three cultivations. The organomineral fertilizers increased grain yield, obtaining average productivities equal to or higher than those obtained with the exclusive use of STP. The STP added to the chicken bed is more efficient in comparison to its isolated application, resulting in the better productive performance of corn in the last cultivation and in the higher cumulative productivity of the four cultures. The organomineral sources are technically feasible alternatives for the supply of P in the maintenance fertilization for grain production systems in built fertility soil.

INTRODUÇÃO GERAL

A região do Cerrado apresenta grande importância no contexto da agricultura brasileira para produção de grãos, embora os solos da região sejam limitados pela baixa fertilidade natural, gerando grande parte do consumo dos fertilizantes utilizados no país, principalmente as fontes fosfatadas (Sousa & Lobato, 2003).

Para elevar os níveis de disponibilidade de fósforo (P) nos solos e para se alcançar altas produtividades é necessário a aplicação de doses de P várias vezes maiores que aquelas exigidas pelas culturas (Bull et al., 2004), visando compensar a capacidade dreno do solo que é bem maior do que a da planta (Novais et al., 2007). O P adicionado ao solo pode ser precipitado com formas iônicas de Fe, Al e Ca, e ainda pode ser adsorvido pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, presentes em grandes quantidades nos solos tropicais muito intemperizados, principalmente nos mais argilosos (Novais & Smyth, 1999).

A crescente demanda por fósforo no Brasil e o elevado custo dos fertilizantes fosfatados, exige a escolha de estratégias de manejo para otimizar a sua eficiência agrônômica e econômica. A adubação orgânica tende a aumentar o teor de P no solo e a disponibilidade deste para as plantas (Teixeira, 2013). A cama de frango é uma mistura de substrato utilizado na forração dos pisos dos galpões, (ex: fezes, penas e restos de ração), acumulados após vários ciclos de produção de aves. A utilização de resíduos de animais como fertilizantes orgânicos é uma prática muito antiga, sendo que a cama de frango de aviários vem sendo utilizada como insumo de custo mais baixo e de utilização acessível.

Com a transformação biológica ou física de resíduos orgânicos e incorporação de fontes minerais é possível produzir fertilizantes organominerais granulados com alto teor de fósforo, para uso em sistemas de produção de grãos (Benites et al., 2010), aumentando a fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes convencionais, com uma série de ganhos para o produtor rural (Teixeira, 2013).

A utilização de fosfatos naturais reativos é outra opção para fornecer P aos solos (Sousa et al., 2002), a exemplo do fosfato de Bayóvar. Em geral, fosfatos solúveis proporcionam maior resposta no ano da aplicação, enquanto os fosfatos reativos têm eficiência inicial mais baixa devido à sua menor solubilidade (Sousa & Lobato, 2003). Ao longo do tempo o fósforo que é rapidamente liberado dos fertilizantes solúveis passa para formas menos disponíveis, enquanto nos fosfatos naturais reativos o nutriente vai sendo liberado gradativamente (Novais & Smyth, 1999).

A partir de estudo em casa de vegetação para avaliar eficiência agronômica de fertilizantes organominerais granulados à base de cama de frango e fontes de fósforo, Frazão (2013) relatou resposta positiva ao organomineral com fosfato natural reativo Bayóvar, que apresentou eficiência agronômica semelhante à da fonte solúvel de fósforo.

Um importante aspecto a ser considerado quando se estuda fertilizantes fosfatados é o seu efeito residual na produtividade das culturas ao longo do tempo, uma vez que, além da influência no primeiro cultivo, quase sempre ainda há respostas nos subsequentes. Neste sentido, são necessários experimentos de campo com maior duração para se avaliar o efeito residual da adubação organomineral com diferentes fontes de fósforo.

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar o efeito da adubação fosfatada de manutenção com fertilizantes organominerais, combinando cama de frango e fosfatos solúvel ou reativo, na produção de grãos em cultivos sequenciais em Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso com fertilidade construída.

REFERÊNCIAS

BENITES, V. de M.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS,

29. Guarapari. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais.** Viçosa: SBCS, 2010.
- BULL, L. T.; COSTA, M.C.G., NOVELLO, A., FERNANDES, D.M., BOAS, R.L.V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004.
- FRAZÃO, J. J. **Eficiência agronômica de fertilizantes organominerais granulados à base de cama de frango e fontes de fósforo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2013. 88p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999. 399 p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1-16, jun. 2003. Encarte técnico.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 147-168.
- TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio de fertilizantes mineral e organomineral.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2013. 99p.

ARTIGO 1

Adubação fosfatada organomineral na produção de milho, feijão e soja cultivados em sucessão

Artigo publicado: American Journal of Plant Sciences, 8, 2407-2421, 2017.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2017.810163>

RESUMO - Resíduos orgânicos vêm sendo utilizados como fontes de nutrientes na agricultura, visando maiores produtividades, diminuição do custo de produção e uso sustentável de recursos naturais. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da adubação fosfatada de manutenção com fertilizantes organominerais, combinando cama de frango e fosfatos solúvel ou reativo, na produção de grãos da cultura do milho e o efeito residual para cultivos subsequentes de feijão e soja, em Latossolo Vermelho Distroférico. O experimento foi conduzido em Sete Lagoas-MG, no ano de 2015, utilizando três fertilizantes com diferentes fontes de fósforo (superfosfato triplo – STP, organomineral com STP e organomineral com fosfato de Bayóvar) aplicados nas doses de 65, 130, 195 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, comparados ao controle sem adubação fosfatada. Foram avaliados os teores de P foliar, acúmulo de P nos grãos, produtividades de grãos de milho, feijão e soja, produtividade acumulada e exportação de P acumulada das três culturas. Os teores de P disponível no solo foram avaliados pelos extratores Mehlich-1 e Resina de Troca Iônica. A adubação fosfatada de manutenção é necessária para maior produtividade no sistema de sucessão milho/feijão/soja em solo com disponibilidade inicial adequada de P. Porém, a resposta a incrementos na dose aplicada é baixa. A adubação realizada para o milho apresenta efeito residual suficiente para atender à demanda nutricional dos cultivos subsequentes de feijão e soja. Os fertilizantes organominerais elevaram a produção de grãos, obtendo-se produtividades médias iguais ou superiores àquelas obtidas com o uso exclusivo de STP.

Palavras-chave: fosfato reativo, cama de frango, efeito residual, solo de fertilidade construída.

Organomineral phosphorus fertilization in the production of corn, soybean and bean cultivated in succession

ABSTRACT - Organic wastes have been used as nutrient sources in agriculture, aiming at greater productivity, decrease in the cost of production and sustainable use of natural resources. The present study aimed at evaluating the effect of phosphate fertilization with the maintenance of organomineral fertilizers, combining poultry manure and soluble or reactive phosphate, in the production of grains in corn culture and the residual effect for subsequent crops of beans and soybeans. The experiment was conducted in Sete Lagoas, MG, in 2015, using three fertilizers with sources of different phosphorus sources (triple super phosphate TSP, organomineral with TSP and organomineral with Bayóvar phosphate) applied at the doses of 65, 130, 195 and 260 kg ha⁻¹ of total P₂O₅, and compared to the control without phosphate fertilization. We evaluated the contents of foliar P, P accumulation in the grains, yields of corn grains, beans and soy, accumulated productivity and export of accumulated P of the three cultures. The maintenance phosphate fertilization is necessary for increased productivity in the system of corn/bean/soya succession in soil with appropriate initial availability of P. The maintenance phosphate fertilization provided for corn presents enough residual effect to meet the nutritional demand of subsequent crops of beans and soy. Organomineral fertilizers increased grain production, obtaining average productivity equal to or greater than those obtained with the exclusive use of TSP.

Keywords: reactive phosphate, poultry manure, residual effect, built fertility soil.

INTRODUÇÃO

Visando uma agricultura sustentável, torna-se cada vez mais necessária a utilização de sistemas capazes de proporcionar maior produtividade, atrelada à eficiência no suprimento de nutrientes (Lana, Rampim e Vargas, 2014). Muitas vezes, a produtividade de grãos no Brasil é

limitada pelos altos custos de produção, sendo os fertilizantes os insumos mais onerosos (Castro e Lima, 2006; Dos Santos et al., 2017).

O uso de resíduos orgânicos na adubação é uma possibilidade atrativa do ponto de vista econômico e ambiental. A reciclagem de nutrientes contidos em materiais orgânicos acessíveis ao agricultor é uma alternativa à aplicação de fertilizantes convencionais de elevado custo, além de minimizar a chance de poluição pelo descarte incorreto de resíduos gerados em atividades agrícolas (Silva et al., 2011).

A produção brasileira de frangos de corte em 2015 foi de 13 milhões de toneladas (Abpa, 2016), gerando grande quantidade de resíduos como a cama de frango. A principal destinação desses materiais é o uso agrícola “in natura”, o que normalmente ocorre sem critérios técnicos que permitam o aproveitamento eficiente, resultando em grandes perdas de nutrientes (Benites, 2011).

Uma opção promissora é a utilização de resíduos orgânicos na produção de fertilizantes organominerais. De acordo com a instrução normativa Nº 23 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de 31 de agosto de 2005, fertilizante organomineral é o produto resultante da mistura física ou combinação de fontes minerais e orgânicas de nutrientes. Esses fertilizantes devem conter os macronutrientes primários (N, P, K) ou a soma destes (NP, NK, PK ou NPK) em teor mínimo de 10%. Para atender à legislação, pode-se adicionar fontes convencionais de fósforo, de nitrogênio ou de potássio aos fertilizantes organominerais. Visando atender ao mercado produtor de grãos, a Embrapa desenvolveu uma tecnologia de produção de fertilizantes organominerais granulados com maior concentração de nutrientes, a partir de cama de aviário (Benites, 2011).

Os solos brasileiros apresentam baixa disponibilidade natural de fósforo e são utilizadas grandes quantidades de adubos contendo esse nutriente, com o objetivo de compensar a capacidade de dreno do solo, que é bem maior do que a da planta (Novais et al., 2007). Inicialmente, adubações fosfatadas corretivas são necessárias para elevar a disponibilidade de

P a um nível satisfatório para o adequado desenvolvimento das culturas. A partir dessa etapa, adubações de manutenção com menores dosagens de P são suficientes para garantir boas produtividades.

As características das fontes de fósforo podem influenciar a eficiência agrônômica da adubação, a qual também é afetada pelas condições do solo, como o nível inicial de fertilidade, a textura, o histórico de adubações e o manejo das culturas. Os fosfatos naturais reativos são fontes de fósforo que possuem solubilidade intermediária entre as fontes de P solúveis (a exemplo do superfosfato triplo) e os fosfatos naturais apatíticos brasileiros (Resende et al., 2006 e Frandoloso et al., 2010).

É possível que a incorporação de fontes de fósforo a uma base orgânica para obtenção de fertilizantes organominerais modifique o seu comportamento típico no solo, impactando na eficiência de aproveitamento pelas culturas. Segundo Kiehl (2013), os fertilizantes organominerais podem aumentar a eficiência dos ingredientes minerais e potencializar os efeitos dos nutrientes, deixando-os mais disponíveis às plantas. Além disso, a matéria orgânica presente nos organominerais forma uma proteção, diminuindo as perdas de nutrientes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação fosfatada de manutenção com fertilizantes organominerais, combinando cama de frango e fosfatos solúvel ou reativo, na produção de grãos da cultura do milho e o efeito residual para cultivos subsequentes de feijão e soja, em latossolo na Região Central de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo (latitude 19° 28' 36" S, longitude 44° 11' 53" W e altitude 732 m), em Sete Lagoas, MG. O clima, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa (com inverno seco e verão quente), com temperatura média anual de 21,8 °C e precipitação média anual de 1.345 mm.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso (660 g kg⁻¹ de argila), já tendo sido cultivado e adubado por vários anos, sendo que a área permaneceu em pousio (vegetação espontânea) por cinco anos antes da implantação do experimento.

Precedendo a instalação do experimento, foi passado escarificador a 25 cm de profundidade e realizada a aplicação de 2,5 ton ha⁻¹ de calcário e 2 ton ha⁻¹ de gesso agrícola, ambos incorporados com grade aradora. Em seguida, foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de uma mistura de cloreto de potássio e FTE BR 12 na proporção 3:1, finalizando com uma gradagem niveladora.

As condições de fertilidade na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento, eram: pH em água 5,9; matéria orgânica 3,6 dag kg⁻¹; teores de P e K (Mehlich 1) de 6 e 105 mg dm⁻³, respectivamente; Ca, Mg, Al, H+Al e CTC potencial de 4,4; 0,8; 0,0; 4,3; e 9,8 cmol_c dm⁻³, respectivamente; e saturação por bases (V%) de 53%.

Os fertilizantes organominerais fosfatados que compuseram os tratamentos foram produzidos a partir de processos físicos para secagem e trituração para redução do tamanho das partículas dos resíduos de cama de aviário. Em seguida, foi adicionada uma das fontes de fósforo (superfostafo triplo ou fosfato reativo de Bayóvar) para se obter os fertilizantes organominerais, que foram então granulados.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x4+1, com quatro repetições. O primeiro fator correspondeu a três fontes de fósforo: superfosfato triplo (STP, com 44% de P₂O₅ total); organomineral à base de cama de frango com fosfato reativo de Bayóvar (OBAY, com 16,3% de P₂O₅ total) e organomineral com superfosfato triplo (OSTP, com 13,4% de P₂O₅ total). O segundo fator constituiu-se das doses de 65, 130, 195 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total. Como tratamento adicional, utilizou-se um controle sem adubação fosfatada.

Esses tratamentos compuseram a adubação fosfatada de manutenção para a cultura do milho, sendo o efeito residual avaliado em cultivos subsequentes de feijão e soja. Para aplicação dos tratamentos, as respectivas quantidades das fontes de P foram distribuídas manualmente nas

parcelas, em sulcos espaçados de 50 cm, abertos com implemento tratorizado. Após cobrir o adubo com uma fina camada de solo, sementes do milho híbrido simples DKB 390 PRO foram depositadas manualmente e cobertas com outra camada de solo. A semeadura foi realizada na primeira quinzena de janeiro de 2015.

Os cultivos que vieram em sucessão foram estabelecidos no mesmo espaçamento entre fileiras de plantas e sem revolvimento do solo, utilizando-se semeadora mecanizada com as linhas sobrepondo o local de deposição da adubação fosfatada do milho. Desse modo, o feijão (BRS Estilo) foi semeado na segunda quinzena de julho e a soja (BRS 7780 IPRO) na segunda quinzena de novembro de 2015. A densidade de plantas por hectare foi de 60.000, 290.000 e 300.000 para o milho, o feijão e a soja, respectivamente. Em todos os cultivos, cada parcela foi constituída de quatro linhas de sete metros de comprimento, considerando como área útil as duas linhas centrais, descartando-se um metro de bordadura nas extremidades.

As adubações em cobertura para o fornecimento de N e/ou K foram feitas manualmente, ao lado das linhas das culturas, sem incorporação. O milho recebeu 200 kg ha⁻¹ de ureia aos 19 dias após a semeadura (DAS) e mais 300 kg ha⁻¹ do formulado NPK 20-00-20 aos 27 DAS. Para o feijão, foram realizadas duas adubações, sendo a primeira aos 26 DAS com 200 kg ha⁻¹ de NPK 20-00-20, e a segunda aos 40 DAS com 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. A soja recebeu inoculação com rizóbio e uma adubação foi realizada aos 17 DAS com 100 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio.

Em todos os cultivos, utilizou-se irrigação suplementar, realizada por meio de aspersão convencional. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi feito sempre que necessário, mediante monitoramento.

Dentre as avaliações experimentais, foi feita amostragem de solo no início do ciclo do milho (26 DAS), coletando-se com trado calador amostras separadas nas linhas e nas entrelinhas de adubação em cada parcela, na profundidade de 0-10 cm. As amostras enviadas ao laboratório foram compostas a partir de cinco amostras simples e analisadas quanto aos teores de P

disponível pelos extratores Mehlich-1 e Resina de Troca Iônica, conforme metodologias descritas por Silva (2009).

No florescimento das culturas, foram coletadas amostras de folhas para a determinação dos teores de fósforo, conforme metodologias descritas por Malavolta et al. (1997). Para o milho, foram coletadas folhas localizadas abaixo e em posição oposta à espiga sendo utilizado o terço médio sem nervura, de 6 plantas por parcela, tomadas ao acaso. Para o feijão, foram coletadas folhas do terço mediano de 10 plantas. Na soja, foi coletado o 3º trifólio (com pecíolo) a partir do ápice, em 12 plantas por parcela.

As colheitas foram realizadas manualmente na área útil das parcelas. Foram determinados a umidade e o peso dos grãos, corrigindo-se a produtividade para 13% de umidade. Amostras de grãos foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, até atingir massa constante, e analisadas quanto ao teor de P conforme Malavolta et al. (1997). Foi determinado o acúmulo do nutriente nos grãos, correspondente à exportação em cada tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando ocorreram diferenças significativas em função dos tratamentos (teste F), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ou foi realizada análise de regressão, com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P disponível no solo na fase inicial do ciclo do milho (26 DAS), determinados com Resina de Troca Iônica e pelo extrator Mehlich-1, foram influenciados pelas doses do nutriente nas linhas de plantio (Tabela 1, Figura 1). A disponibilidade de P nas entrelinhas não foi influenciada pelos tratamentos, fato já esperado devido à baixa mobilidade desse nutriente no solo.

Houve incremento linear da disponibilidade na linha de plantas com o aumento das doses de fósforo (Figura 1). Os valores determinados com os dois extratores foram semelhantes para as menores doses de P₂O₅. Nas maiores doses (195 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅), a solução Mehlich-1

extraiu maiores quantidades do nutriente, o que provavelmente decorre da característica desse método de análise superestimar os teores de P disponível em solos adubados com fosfatos naturais, como no caso do tratamento que recebeu o fosfato reativo de Bayóvar.

De fato, houve diferença entre as fontes quanto ao P Mehlich-1, mas não em relação ao P Resina (Tabela 1). Na média das doses fornecidas, o tratamento com organomineral contendo o fosfato reativo (OBAY) apresentou valor de 211 mg dm⁻³ de P Mehlich-1 na análise, superando significativamente os teores de 101 e 127 mg dm⁻³ quantificados nos tratamentos com o fosfato solúvel super triplo aplicado puro (STP) ou agregado à fonte organomineral (OSTP), respectivamente.

De acordo com Kliemann e Lima (2001), a aplicação de fosfatos naturais cálcicos modifica substancialmente o comportamento do extrator Mehlich-1, que reage preferencialmente com formas de fósforo ligadas ao cálcio, solubilizando uma parte considerável do nutriente que ainda não foi liberado no solo, superestimando a disponibilidade às plantas. Já a Resina de Troca Iônica possui propriedades que permitem a quantificação apenas do fósforo lábil, em formas mais prontamente disponíveis para a absorção vegetal (Raij, 2010).

De forma geral, os resultados de disponibilidade de P no solo, em função dos tratamentos de adubação e extratores utilizados no presente trabalho, são concordantes com constatações de outros estudos. Avaliando a eficiência agrônômica de fosfatos em solo com elevado teor de cálcio trocável, Souza et al. (2014) encontraram maiores teores de P disponível quando se utilizou o fosfato de Bayóvar em relação ao superfosfato triplo. Em estudo realizado por Gatiboni et al. (2002) para quantificação do fósforo disponível com diferentes extratores em Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso, verificou-se que o método da Resina teve maior capacidade de extração de P nos tratamentos com baixa disponibilidade fósforo, enquanto o Mehlich-1 apresentou maior capacidade de extração em condições de alta disponibilidade do nutriente.

Apenas para a cultura do milho o teor de fósforo foliar refletiu interação significativa entre as fontes e as doses utilizadas. Já as culturas do feijão e da soja apresentaram valores de P foliar superiores na média do fatorial (fontes x doses) em relação ao controle. Para a soja houve ainda efeito isolado das fontes fosfatadas (Tabela 1).

No desdobramento da interação observada no cultivo de milho (Figura 2 A), não houve ajuste de modelos de resposta às doses das fontes STP e OBAY. Embora se tenha detectado resposta quadrática para a fonte OSTP, o padrão da curva de regressão é pouco elucidativo. Essa aparente inconsistência dos teores foliares de P frente aos tratamentos evidencia, na realidade, pouca influência da adubação fosfatada sobre o comportamento do milho nas condições de solo já cultivado e adubado anteriormente. Todos os valores de P foliar, nos tratamentos com ou sem adubação fosfatada (Figura 2 A), estão dentro da faixa de 2,50 a 3,50 g kg⁻¹, considerada adequada para a cultura segundo Malavolta et al. (1997). O fato de o tratamento controle também apresentar teor de P foliar (2,63 g kg⁻¹) na faixa adequada pode ser explicado pela disponibilidade do nutriente no solo, antes da implantação do experimento (6 mg dm⁻³, extrator Mehlich-1), já estar em nível relativamente satisfatório para a produção de grãos, conforme interpretação proposta por Sousa e Lobato (2004) para solos muito argilosos.

O baixo impacto da adubação fosfatada no milho sobre os teores foliares de P (Figura 2 A) revela que o histórico de manejo da fertilidade pode ter grande influência no potencial de resposta de curto prazo a novas aplicações em solos argilosos da região do Cerrado. Ao que tudo indica, por se tratar de um talhão antigo de cultivo, o nível de base de disponibilidade de P na área experimental e a contribuição de outros compartimentos do nutriente eventualmente não captados na análise de solo impediram a clara expressão de efeitos dos tratamentos. Assim, mesmo tratando-se de uma adubação recente, localizada no sulco de semeadura, com fontes que em princípio poderiam ter comportamento distinto, e fornecidas em dosagens contrastantes, a condição prévia de fertilidade construída acabou por mascarar as respostas normalmente esperadas.

Nesse sentido, os resultados obtidos divergem de relatos da literatura. Por exemplo, Frandoloso et al. (2010), ao avaliarem a eficiência de adubos fosfatados na cultura do milho, observaram teor foliar médio de P de 2,7 g kg⁻¹ com a aplicação de superfosfato triplo e 2,4 g kg⁻¹ com o uso de fosfato natural reativo de Gafsa. Ourives et al. (2010) relataram que o fertilizante orgânico Bokashi com composição muito rica em matéria orgânica, promoveu mineralização da matéria orgânica e menor fixação de fósforo, tornando-o mais disponível às plantas em comparação à adubação mineral convencional.

No cultivo subsequente de feijão, o teor de fósforo foliar para a média dos tratamentos de adubação do fatorial foi de 2,85 g kg⁻¹, enquanto o tratamento controle apresentou teor 2,75 g kg⁻¹. Apesar da diferença estatisticamente significativa, ambos os valores se encontram na faixa de suficiência para a cultura, que segundo Ambrosano et al. (1996) é de 2,5 a 4,0 g kg⁻¹.

No terceiro cultivo, com soja sobre o residual da adubação fosfatada fornecida inicialmente, os teores foliares de P foram de 3,22 e 2,17 g kg⁻¹ para a média dos tratamentos do fatorial e no tratamento controle, respectivamente. Nesse caso, o controle sem adubação já ficou abaixo da faixa de suficiência de 2,5 a 5,0 g kg⁻¹ para a cultura da soja (Embrapa Soja, 2013). Dentre as fontes, o OSTP proporcionou maior teor foliar médio com 3,40 g kg⁻¹ de P, seguido de STP com 3,20 g kg⁻¹ e OBAY com 3,06 g kg⁻¹.

Uma possível explicação para a superioridade do efeito residual do OSTP quanto ao teor foliar na soja pode estar ligada à maior solubilidade do superfosfato triplo e benefícios condicionados aditivamente pela porção orgânica do fertilizante organomineral. A matéria orgânica protege o fósforo solubilizado a partir do fertilizante, inibindo as reações de fixação do elemento com os óxidos de ferro e alumínio presentes nos solos (Tiritan et al. 2010). Desse modo, a vantagem de maior solubilidade inicial do fósforo do superfosfato triplo permaneceria preservada por mais tempo após a aplicação, favorecendo seu aproveitamento pelas culturas em sucessão.

Os dados de análise foliar demonstram que o fósforo aplicado na cultura do milho, independente da fonte e mesmo nas menores doses, foi suficiente para suprir o desenvolvimento das culturas subsequentes. Partindo-se de uma condição inicial de solo com disponibilidade adequada e considerando que a demanda do nutriente pelas plantas não é elevada, os três cultivos realizados após a adubação fosfatada ainda não permitiram identificar maiores diferenças entre os tratamentos. Além disso, parte do P absorvido pelas plantas fica retido na palhada, sendo armazenado em formas orgânicas, podendo contribuir com o suprimento do nutriente aos cultivos posteriores (Lana et al. 2014).

Todas as culturas apresentaram produtividades superiores para a média do fatorial com adubação em relação ao controle (Tabela 2). Apenas a cultura do feijão apresentou diferenças de produtividade devido ao tipo de fertilizante e às doses de fósforo, porém sem interação significativa desses fatores.

Para o milho, a média da produtividade de grãos dos tratamentos do fatorial foi de 13.069 kg ha⁻¹, com incremento de 1.880 kg ha⁻¹ em relação ao tratamento controle sem adubação fosfatada. Esse resultado reforça a necessidade e importância das adubações de manutenção para o milho, mesmo quando a disponibilidade inicial de P é interpretada como adequada, muito embora não tenha havido efeito significativo de doses crescentes de P e nem diferenças entre as fontes estudadas. Assim, pode-se inferir que, para maior segurança e estabilidade de produção, o dimensionamento das adubações de manutenção em solos de boa fertilidade deve ter como critério essencial garantir ao menos a reposição do fósforo que é exportado com a colheita dos grãos.

O feijoeiro nutrido a partir do efeito residual dos tratamentos teve a produtividade aumentada de forma linear com o incremento das doses de P que haviam sido aplicadas para o primeiro cultivo com milho (Figura 3 A). Maior produtividade média foi obtida quando se utilizou o fertilizante OSTP (Tabela 3). Na média do fatorial, obteve-se 2.785 kg ha⁻¹ de grãos,

representando um ganho significativo de 1.372 kg ha⁻¹ em comparação ao rendimento proporcionado pelo tratamento controle.

Para o terceiro cultivo, com soja, houve um acréscimo estatisticamente significativo de 672 kg ha⁻¹ na produtividade média dos tratamentos que receberam adubação fosfatada (2.873 kg ha⁻¹) em relação ao controle (2.201 kg ha⁻¹). As produtividades médias de 13.069 kg ha⁻¹ de milho, 2.785 kg ha⁻¹ de feijão e 2.873 kg ha⁻¹ de soja, nos tratamentos que receberam adubação fosfatada, foram superiores às médias dessas culturas no estado de Minas Gerais (Conab, 2016), que corresponderam a 5.373, 1.512 e 2.658 kg ha⁻¹ no ano agrícola 2014/2015.

O fato de apenas o feijão apresentar ganhos diferenciados de produtividade em função das fontes e das doses de P pode estar relacionado a esta cultura ter sido semeada logo após a colheita milho, possivelmente sendo mais beneficiada do que o cultivo seguinte com a soja. Ramos et al. (2010) avaliando a influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo na produção do feijoeiro relataram que os ácidos provenientes da decomposição da palhada das gramíneas plantadas anteriormente ao feijão provavelmente influenciaram o aumento de P na planta e a maior produção do feijoeiro. Além disso, normalmente, a cultura do feijoeiro apresenta ciclo curto e sistema radicular menos desenvolvido, mostrando-se mais responsiva à adubação comparativamente à soja (Resende et al., 2017).

A produtividade de grãos acumulada dos três cultivos foi significativamente maior na média do fatorial em relação ao controle sem adubação fosfatada, porém, não foi possível evidenciar efeitos dos fatores fontes e doses, bem como de sua interação (Tabela 2). Esses resultados permitem afirmar que, nas condições do presente estudo, o desempenho técnico dos fertilizantes organominerais foi similar ao da fonte padrão superfosfato triplo, o que corrobora outros casos reportados na literatura. Borges et al. (2015), avaliando eficiência da adubação com fertilizante organomineral, envolvendo resíduo de frigorífico e cama de frango, relataram que a adubação mineral teve efeito semelhante ao dos tratamentos com organomineral na produtividade do milho. Tiritan et al. (2010) concluíram que a adubação com organomineral mostrou-se uma

alternativa viável para substituição total ou parcial da adubação mineral convencional na cultura do milho.

De forma condizente com as respostas em produtividade, a quantidade de fósforo acumulado nos grãos foi superior para a média do fatorial em relação ao controle nos três cultivos avaliados (Tabela 2).

Houve efeito linear na quantidade de fósforo acumulada nos grãos de milho em função das doses de P_2O_5 quando se utilizou o fertilizante OBAY (Figura 2 B), o que não se verificou para as fontes STP e OSTP. Essa diferença pode ser atribuída à característica dos fosfatos reativos não liberarem prontamente todo o P contido (Novais et al., 2007), o que acarretaria alguma limitação da absorção e posterior direcionamento aos grãos do nutriente fornecido nas menores doses. Não obstante, a produtividade não foi influenciada e, portanto, o acúmulo crescente com o aumento das doses de OBAY se deve ao dreno preferencial do nutriente que os grãos representam na planta de milho.

O acúmulo de P nos grãos de milho variou de 22,0 a 27,1 kg ha⁻¹ entre os tratamentos, amplitude coerente com os dados apresentados por Lacerda et al. (2015), que encontraram valor médio de 23,3 kg ha⁻¹ de P acumulado nos grãos em cultivo num latossolo de fertilidade construída na região de Unaí – MG.

Nos grãos de feijão, o acúmulo de P aumentou de forma linear com o incremento nas doses de P_2O_5 aplicadas por ocasião do cultivo anterior com milho (Figura 3 B). Maior acúmulo foi obtido quando se utilizou o fertilizante OSTP, alcançando 13,3 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Claramente, o conteúdo de P nos grãos guardou estreita relação com as respostas em produtividade do feijoeiro, indicando que os teores do nutriente neste compartimento da planta foram relativamente constantes, sendo as diferenças de produtividade determinantes dos acúmulos de 5,39 a 15,59 kg ha⁻¹. Carvalho et al. (2014), estudando o feijoeiro comum em semeadura direta sob déficit hídrico, obtiveram acúmulo de P nos grãos variando entre 8,2 e 10,76 kg ha⁻¹ no segundo ano de cultivo.

Na soja, o acúmulo de P nos grãos foi de 16,5 e 11,3 kg ha⁻¹ para a média dos tratamentos do fatorial e do controle, respectivamente. A amplitude observada no experimento foi de 11,3 a 18,9 kg ha⁻¹, com tendência de as maiores doses com o fertilizante OSTP favorecerem a acumulação do nutriente nos grãos. Esses valores estão um pouco abaixo dos encontrados por Lacerda et al. (2015) em um sistema de alternância anual soja/milho, no qual os grãos da leguminosa continham 21,8 kg ha⁻¹ para uma produtividade média de 3.475 kg ha⁻¹, nível de rendimento superior ao encontrado no presente estudo.

O somatório dos acúmulos nos grãos em cada cultivo indica a exportação de fósforo pela sucessão das três culturas. Essa exportação total foi maior para a média do fatorial em relação ao controle, havendo ainda efeito isolado dos fatores fertilizantes e doses (Tabela 2). A exportação aumentou linearmente com as doses de P₂O₅ aplicadas, alcançando 56,6 kg ha⁻¹ de P na maior dose, enquanto no tratamento controle a remoção com as colheitas foi de 38,9 kg ha⁻¹. A utilização das fontes STP e OSTP, constituídas de fosfato de maior solubilidade, condicionaram níveis de exportação mais elevados (52,6 e 55,2 kg ha⁻¹, respectivamente) em comparação ao OBAY (49,5 kg ha⁻¹) que contém fosfato reativo de Bayóvar, menos solúvel.

Os dados de exportação total pelos três cultivos em sucessão dão indicativos de que houve variações nas quantidades de fósforo absorvidas conforme os diversos tratamentos, as quais, porém, não se refletiram da mesma maneira na produtividade acumulada. O emprego de irrigação complementar no experimento certamente ameniza eventuais diferenças relativas a fatores nutricionais, contribuindo para nivelar as respostas produtivas à adubação fosfatada em solo que já dispõe de considerável reserva do nutriente. Nessas condições, a adubação de manutenção com fertilizantes organominerais contendo fosfato solúvel ou reativo teve desempenho equiparável ao da fonte de referência superfosfato triplo.

Considerando a produtividade do feijoeiro, o teor de P foliar na soja e a exportação total de P nos três cultivos como indicadores do potencial de suprimento de fósforo pelas fontes,

destaca-se a superioridade do fertilizante organomineral combinando a cama de frango com fosfato solúvel superfosfato triplo.

CONCLUSÕES

A adubação fosfatada de manutenção é necessária para maior produtividade no sistema de sucessão milho/feijão/soja em solo com disponibilidade inicial adequada de P.

A utilização de fontes organominerais combinando cama de frango e fosfatos solúvel ou reativo tem eficiência técnica equiparável à da referência superfosfato triplo na adubação do sistema.

A adubação fosfatada de manutenção realizada para o milho apresenta efeito residual suficiente para atender à demanda nutricional dos cultivos subsequentes de feijão e soja.

O feijoeiro expressa ganho linear de produtividade com o aumento no fornecimento de P e resposta diferenciada às fontes do nutriente. Para essa cultura, o fertilizante organomineral a base de cama de frango e superfosfato triplo tem desempenho superior ao das demais fontes.

REFERÊNCIAS

- ABPA- **Associação brasileira de proteína animal**. Disponível em <bpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf > Acesso em 02 ago. 2016.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Leguminosas e oleaginosas**. In: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. p. 187-203. (Boletim Técnico, 100).
- BENITES, V., Produção de fertilizantes organominerais utilizando resíduos orgânicos de sistemas de produção animal: uma alternativa para agregação de valor aos resíduos e redução do impacto ambiental. Embrapa Solos - Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial - www.sbera.org.br - informativo VIII, 2011.

- BORGES, R. E. et al. Eficiência da adubação com organomineral na produtividade de soja e milho. **Global Science and Technology**, v.08, n.1, p. 177 -184, 2015.
- CARVALHO, J. J. et al. Teor e acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico. **Irriga**, Edição Especial, v.1, p. 104-117, 2014.
- CASTRO, S. H.; REIS, R. P.; LIMA, A. L. R. Custos de produção da soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicasos no oeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.6, p. 1146-1153, 2006.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos, decimo levantamento julho 2016**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_07_29_15_12_51_boletim_graos_julho_2016.pdf>. Acesso em 29 jul. 2016.
- DOS SANTOS, G; DE MORAES, J. M. M; NUSSIO, L. G. Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. **Revista iPecege**, v.3, n.1, p. 39-48, 2017.
- EMBRAPA SOJA (2013). **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil**, 2014. – Londrina: Embrapa Soja, 265p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf>>. Acesso em 09 set. 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M.C.; FONTANA, S.; CZYCZA, R.V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p. 686-694, 2010.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1023-1029, 2002.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 5. ed. Atual. Piracicaba, Editora Degaspari, 2013. 142 p.
- KLIEMANN, H. J. & LIMA. D. V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31, n.2, p. 111-119, 2001.
- LACERDA, J.J J.; RESENDE, A.V.; NETO, A.E.F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O.P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.9, p. 769-778, 2015.

- LANA, M. C.; RAMPIM, L.; VARGAS, G. Adubação fosfatada no milho com fertilizante organomineral em latossolo vermelho eutroférico. **Global Science Technology**, v. 07, n.1, p.26-36, 2014.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N.; Fósforo. In: In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.471-550.
- OURIVES, O.E.A.; SOUZA, G.M.; TIRITAN, C.S.; SANTOS, D.H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.2, p.126-132, 2010.
- RAIJ, B. **Fertilidade do solo no Brasil: contribuições do Instituto Agrônomo de Campinas**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 132, p. 1-13, dez. 2010. Disponível em:< [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/D0DFDD36DC43EB4B83257A8F005FFE2F/\\$FILE/page1-13-132.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/D0DFDD36DC43EB4B83257A8F005FFE2F/$FILE/page1-13-132.pdf)>.
- Acesso em: 01 ago. 2016.
- RAMOS, S. J.; FAQUIN, V., RODRIGUES, C. R., SILVA, C. A., ÁVILA, F. W., SAMPAIO, R. A. Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.89-96, 2010.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.A. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.453-456, 2006.
- RESENDE, A.V.; SILVEIRA, P.M.; PRADA NETO, I.; PEDROSO NETO, J.C.; MARTINS, F.A.D. Manejo da fertilidade do solo e nutrição das plantas do feijão-comum. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.38, n.298, p.14-24, 2017.
- SILVA, C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- SILVA, T. R.; MENEZES, J.F.S.; SIMON, G.A.; ASSIS, R.L.; SANTOS, C.J.L.; GOMES, G.V. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p. 903-910, 2011.
- SOUSA, D. M. G & LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUZA, R. M.; SOBRAL, L.F.; VIÉGAS, P.R.A.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CARVALHO, M.C.S. Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1816-1825, 2014.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D.H.; BORDINI, R.A.; FOLONI, J.S.S.; ONISHI, R.Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v.6, n.1, p.01-07, 2010.

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Resumo das análises de variância para teores de fósforo disponível no solo (Resina e Mehlich-1), nas linhas e nas entrelinhas de plantio, e para teores foliares de fósforo (PF) nos cultivos de milho, feijão e soja.

FV	GL	Quadrado médio						
		Linha		Entrelinha		Teor foliar de P		
		P Mehlich	P Resina	P Mehlich	P Resina	PF Milho	PF Feijão	PF Soja
Fonte (F)	2	53298,05**	1614,23	3,74	3,16	0,11	0,00	0,46*
Dose (D)	3	73455,75**	18337,89**	0,87	7,36	0,26**	0,03	0,24
F*D	6	11644,15	1745,82	2,84	25,29	0,14*	0,02	0,07
Fat*Adic	1	72654,42**	38.778,12**	16,37*	0,00	0,45**	1,16**	4,01**
Trat	12	39123,55**	8957,93**	3,63	15,01	0,19**	0,12	0,51**
Bloco	3	3454,64	1162,39	9,80*	9,56	0,18*	0,10	0,14
Erro	36	7431,01	1322,29	2,55	32,40	0,05	0,11	1,11
Total	51							
C.V.(%)		63,53	32,62	20,46	22,97	7,9	10,8	10,81
Média		135,7	111,5	7,8	23,0	2,8	3,0	3,1

** significativo a 1%; * significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 2. Resumo das análises de variância para produtividade (Prod.), acúmulo de P nos grãos (PG) nos cultivos de milho, feijão e soja, produtividade acumulada e exportação acumulada (Exp.) de fósforo.

FV	GL	Quadrado Médio							
		Milho		Feijão		Soja		Acumulado	
		PG	Prod.	PG	Prod.	PG	Prod.	Prod.	Exp.
Fonte (F)	2	9,8	409852,3	68,3**	2631192,7**	5,2	120427,4	4240846,1	129,6*
Dose (D)	3	12,3	956440,9	27,6**	873029,6*	14,2	129914,2	2127728,3	120,9**
F*D	6	11,4*	1066072,8	1,8	35219,6	2,2	57230,3	1115160,9	19,7
Fat*Adic	1	30,3*	13051373,6*	112,7**	6948547,9**	97,6*	1666036,1*	56842999,9*	676,5**
Trat	12	12,9*	1928069,8*	28,5**	1253444,9**	13,7*	220001,3	6533236,9**	118,1**
Bloco	3	18,6*	1269718,5	9,2	191643,5	9,7	126374,6	747322,9	14,5
Erro	36	4,7	718442,5	4,9	226751,3	5,8	122798,3	1555601,4	24,8
Total	51								
C.V.(%)		8,7	6,5	21,2	17,8	15,1	12,4	6,8	9,7
Média		24,8	13069,4	10,5	2679,5	16,0	2821,8	18426,6	51,4

** significativo a 1%; * significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 3. Produtividade de feijão (kg ha^{-1}) e acúmulo de fósforo nos grãos (kg ha^{-1}) em função das fontes utilizadas na adubação do primeiro cultivo com milho.

Fonte de P	Feijão	
	Produtividade de grãos	P acumulado grãos
OBAY	2.448 b	9,48 b
STP	2.671 b	9,99 b
OSTP	3.235 a	13,29 a

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

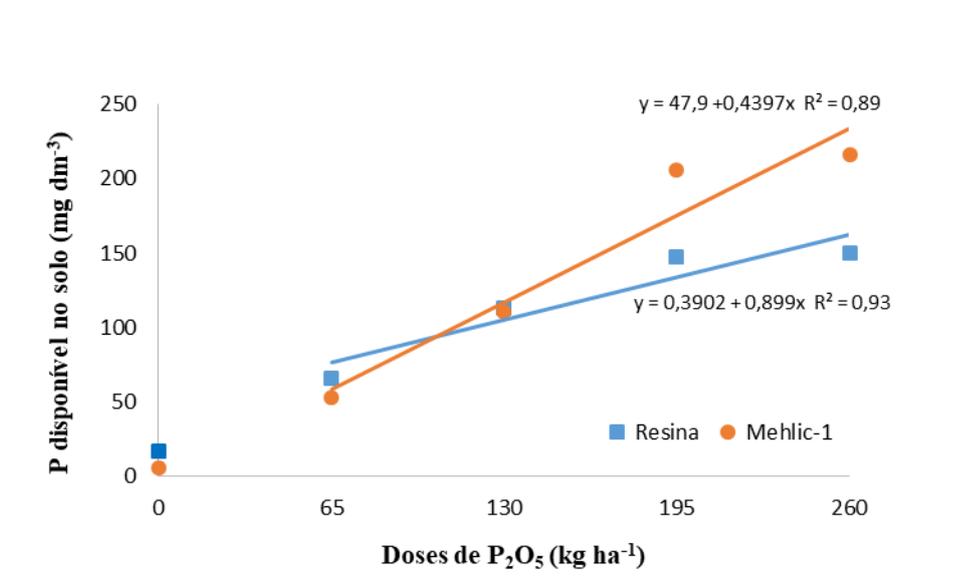


Figura 1. Teores de P disponível no solo pelos extratores Resina de Troca Iônica e Mehlich-1, em amostras coletadas na profundidade de 0-10 cm, na linha adubada com doses crescentes do nutriente, aos 26 dias após a semeadura do milho (Médias das três fontes utilizadas).

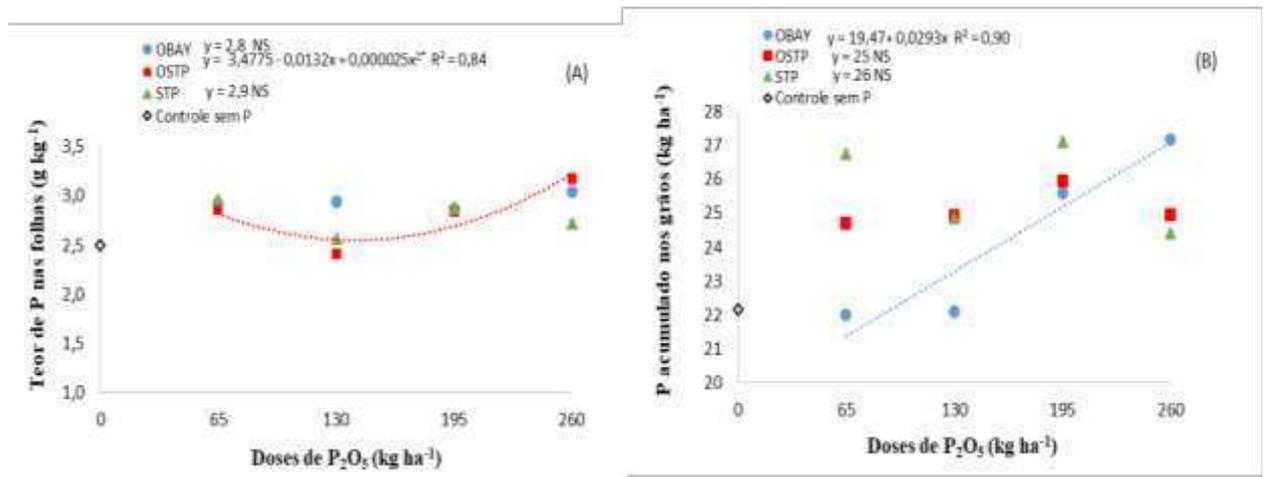


Figura 2. Teores foliares (A) e acúmulo de fósforo nos grãos (B) de milho em função de doses das fontes utilizadas.

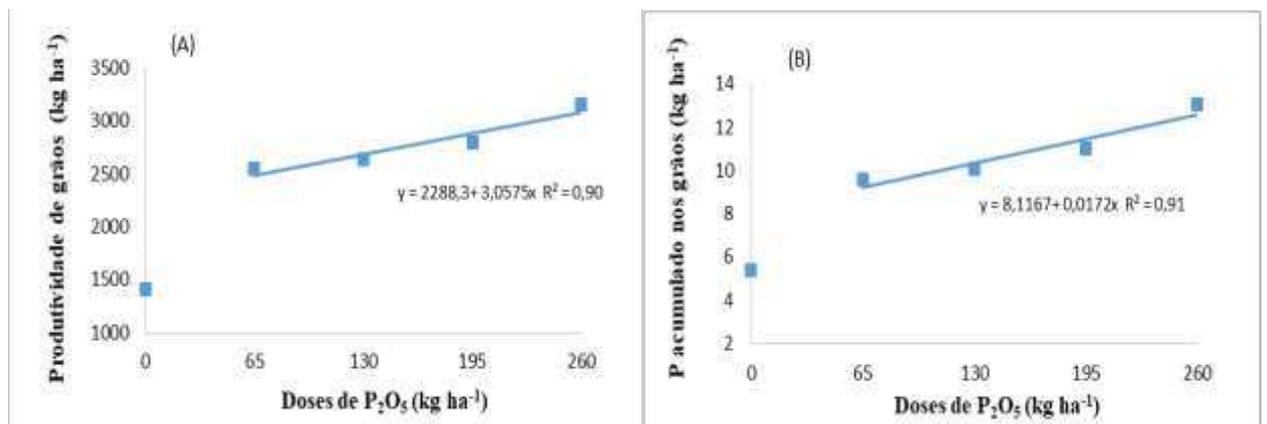


Figura 3. Produtividade de feijão (A) e acúmulo de fósforo nos grãos (B) em função de doses do nutriente aplicadas ao cultivo inicial com milho (Médias das três fontes utilizadas).

ARTIGO 2

Fontes organominerais granuladas e fósforo residual em cultivos sucessivos de grãos

Resumo - A agregação com fontes tradicionais de nutrientes é uma alternativa para se promover a destinação de resíduos da produção animal na adubação das lavouras. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual de fósforo para o milho, no quarto cultivo após a aplicação de fertilizantes fosfatados organominerais granulados a base de cama de frango, em Latossolo Vermelho muito argiloso na região do Cerrado de Minas Gerais. Tratamentos de adubação no sulco com três fontes de fósforo (superfosfato triplo – STP, organomineral com superfosfato triplo – OSTP e organomineral com fosfato reativo de Bayóvar – OBAY), nas doses de 65, 130, 195 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, mais um controle sem adubação fosfatada, compuseram um experimento fatorial 3x4+1, instalado em 2015. Foram realizados cultivos sequenciais de milho/soja/feijão, sempre sobrepondo as linhas de adubação. No quarto cultivo, com milho, foram avaliados: teor de P disponível residual no solo, biomassa e acúmulo de P em plantas no estágio V6, teor foliar do nutriente no florescimento, altura final de plantas e espigas, diâmetro do colmo, produtividade de grãos, peso de 1.000 grãos, e exportação de P nos grãos colhidos. As doses crescentes de P₂O₅ fornecidas no primeiro cultivo influenciam diretamente os níveis de disponibilidade residual do nutriente no solo, refletindo em incrementos no arranque inicial de plantas, absorção de P, diâmetro do colmo e produtividade de grãos de milho no quarto cultivo. O STP agregado à cama de frango (OSTP) mostra-se mais eficiente em comparação à sua aplicação isolada, resultando no melhor desempenho produtivo do milho e na maior produtividade cumulativa da sequência de culturas. As fontes organominerais constituem alternativas tecnicamente viáveis para o fornecimento de P nas adubações de manutenção de sistemas de produção de grãos em solo de fertilidade construída.

Palavras chave- fertilizante organomineral, recuperação de fósforo, plantio direto, solo de fertilidade construída.

Granular organomineral sources and residual phosphorus in successive grain crops

Abstract- Aggregation with traditional sources of nutrients is an alternative to promote the allocation of residues of animal production in the fertilization of crops. The objective of this study was to evaluate the residual effect of phosphorus on corn in the fourth crop after the application of granular organomineral phosphate fertilizers based on poultry manure, in a very clayey Red Latosol in the Cerrado region of Minas Gerais. Three phosphorus sources (triple super phosphate - STP, organomineral with SPT - OSTP and organomineral with reactive phosphate Bayóvar - OBAY) applied at the doses of 65, 130, 195 and 260 kg ha⁻¹ of P₂O₅ total, and compared to the control without phosphate fertilization, composed a 3x4 + 1 factorial experiment installed in 2015. Were conducted sequenciais crops corn / soybeans / beans, always overlapping the fertilization lines. In the fourth crop, corn was evaluated: residual P available in the soil, biomass and accumulation of P in plants at stage V6, foliar nutrient content at flowering, final height of plants and ears, diameter of the stem, grain yield , weight of 1.000 grains, and export of P in grains harvested. The increasing doses of P₂O₅ supplied in the first crop directly influenced the levels of residual nutrient availability in the soil, reflecting increases in initial plant starter, P uptake, stem diameter and yield of maize grains in the fourth crop. The STP added to the chicken bed (OSTP) is more efficient in comparison to its isolated application, resulting in the better productive performance of the maize and the higher cumulative productivity of the crop sequence. The organomineral sources are technically feasible alternatives for the supply of P in maintenance fertilizers of grain production systems in constructed fertility soil.

Keywords- organomineral fertilizer, phosphorus recovery, no-tillage, built fertility soil.

INTRODUÇÃO

Parte do sucesso da produção agrícola brasileira se deve ao uso de corretivos e fertilizantes (Fernandes et al., 2015), visando fornecer as quantidades necessárias de cada nutriente para as culturas e manter níveis adequados de fertilidade no solo. Grande parte dos solos brasileiros são altamente intemperizados e deficientes em fósforo (P), apresentando elevada capacidade de retenção desse nutriente em formas pouco disponíveis às plantas (Novais et al., 2007). Assim sendo, produtividades satisfatórias somente são alcançadas quando o produtor investe na melhoria das condições de fertilidade por meio de adubações fosfatadas ao longo do tempo.

Com o manejo correto da adubação fosfatada é possível aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, dependendo, dentre outros fatores, da fonte utilizada (Tiritan et al., 2010). Fosfatos solúveis, como o superfosfato triplo, apresentam a vantagem de disponibilizarem o P de forma mais imediata para a absorção radicular, mas o nutriente liberado também pode ser fixado mais rapidamente pelos constituintes do solo, o que reduz a eficiência da adubação. Uma alternativa seria o uso de fosfatos naturais reativos, que promovem solubilização gradual do P, limitando a sua adsorção específica pelas argilas do solo (Novais et al., 2007).

Alguns autores relataram menores produtividades de milho e outras espécies vegetais quando utilizaram fosfato natural reativo de Arad e Gafsa em relação ao superfosfato triplo (Fontoura et al., 2010; Frandoloso et al., 2010). Já Ono et al. (2009) observaram que, no milho em sucessão à soja, o fosfato natural reativo de Arad equiparou-se ao superfosfato triplo quanto aos atributos teor de P foliar, massa seca da parte aérea e índice de eficiência agronômica. Quando comparado com os fosfatos solúveis, a viabilidade dos fosfatos naturais reativos está associada ao seu efeito residual compensatório (Resende et al., 2006), sendo este um aspecto importante a ser considerado quando se estuda o efeito da adubação fosfatada sobre a fertilidade do solo, em função principalmente dos altos custos dos fertilizantes (Santos et al., 2010).

De qualquer modo, a busca por novas fontes e formas de manejo que levem a maior eficiência no aproveitamento do fósforo se justifica por se tratar de um recurso natural escasso, não renovável e imprescindível à sustentabilidade das atividades agrícolas, sobretudo nas regiões tropicais. Uma estratégia nesse sentido envolve a produção de fontes organominerais, derivadas da mistura de materiais orgânicos com fertilizantes minerais. Nesse processo, a parte orgânica envolve as partículas ou grânulos minerais, protegendo o P da fixação nos solos, disponibilizando-o às plantas mais eficientemente (Kiehl, 2013).

Com o crescimento da produção avícola no Brasil, aumenta a geração de cama de frango e a sua utilização para adubação na agricultura está sendo considerada como a saída mais promissora e econômica para a destinação desse tipo de resíduo (Ramos et al., 2017). Nesse aspecto, uma alternativa mais eficaz do que a utilização *in natura* da cama de frango é direcioná-la para a produção de fertilizantes organominerais (Benites, 2011). Tiritan et al. (2010) e Sá et al. (2017) relataram bom potencial de uso da adubação fosfatada organomineral, sendo uma alternativa viável em relação à adubação mineral convencional.

Pelo exposto, a possibilidade de se utilizar fontes minerais de P agregadas a materiais orgânicos, resultando em maior eficiência de uso do fertilizante aplicado ao solo, mostra-se uma perspectiva plausível e conveniente. Entretanto, ainda são poucos os estudos disponíveis com experimentos de média a longa duração sobre o potencial agrônomo de fertilizantes fosfatados organominerais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual de fósforo para o milho, no quarto cultivo após a aplicação de fertilizantes fosfatados organominerais granulados a base de cama de frango, em Latossolo Vermelho muito argiloso na região do Cerrado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG, de janeiro de 2015 a setembro de 2016. A área experimental está localizada em latitude 19° 28' 36" S,

longitude 44° 11' 53" W e altitude 732 m. O clima, segundo a classificação de Koppen (1948), é do tipo Cwa (com inverno seco e verão quente), temperatura média anual de 21,8 °C e precipitação média anual de 1.345 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso (660 g kg⁻¹ de argila), já tendo sido cultivado e adubado por vários anos, sendo que a área estava em pousio (vegetação espontânea) por cinco anos antes da implantação do experimento.

Precedendo a instalação do experimento, foi passado escarificador a 25 cm de profundidade e realizada a aplicação de 2,5 t ha⁻¹ de calcário e 2 t ha⁻¹ de gesso agrícola, ambos incorporados com grade aradora. Em seguida, foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de uma mistura de cloreto de potássio e FTE BR 12 na proporção 3:1, finalizando com uma gradagem niveladora. As condições de fertilidade na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento, eram: pH em água 5,9; matéria orgânica 3,6 dag kg⁻¹; teores de P e K (Mehlich1) de 6 e 105 mg dm⁻³, respectivamente; Ca, Mg, Al, H+Al e CTC potencial de 4,4; 0,8; 0,0; 4,3; e 9,8 cmol_c dm⁻³, respectivamente; e saturação por bases (V%) de 53%.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x4+1, com quatro repetições. O primeiro fator correspondeu a três fontes de fósforo: superfosfato triplo (STP, com 44% de P₂O₅ total), organomineral a base de cama de frango com superfosfato triplo (OSTP, com 13,4% de P₂O₅ total) e organomineral com fosfato reativo de Bayóvar (OBAY, com 16,3% de P₂O₅ total). O segundo fator constituiu-se das doses de 65, 130, 195 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total. Como tratamento adicional, utilizou-se um controle sem adubação fosfatada.

Os fertilizantes organominerais foram produzidos a partir de processos físicos de secagem e trituração para redução do tamanho das partículas dos resíduos de cama de aviário. Em seguida, foram adicionadas as respectivas fontes de fósforo (STP e Bayóvar), finalizando o processo com a granulação dos materiais.

Para aplicação dos tratamentos, as respectivas quantidades das fontes de P foram distribuídas manualmente nas parcelas, em sulcos espaçados de 50 cm, abertos com implemento tratorizado. Após cobrir o adubo com uma fina camada de solo, as sementes de milho do primeiro cultivo (cultivar DKB 390 PRO) foram depositadas manualmente e cobertas com outra camada de solo. Essa semeadura se deu na primeira quinzena de janeiro de 2015. Cada parcela foi constituída de quatro linhas de sete metros de comprimento, considerando como área útil as duas linhas centrais, descartando-se um metro de bordadura nas extremidades.

Os cultivos que vieram em sucessão foram estabelecidos no mesmo espaçamento entre fileiras de plantas e sem revolvimento do solo, utilizando-se semeadora mecanizada com as linhas sobrepondo o local de deposição da adubação fosfatada realizada por ocasião do primeiro cultivo. Desse modo, foi semeado feijão (cultivar BRS Estilo) na segunda quinzena de julho e soja (cultivar BRS 7780 IPRO) na segunda quinzena de novembro de 2015. No quarto cultivo, enfoque principal do presente trabalho, novamente foi semeado milho (cultivar AG 8088 PROX) na segunda quinzena de março de 2016, em densidade de 66.000 sementes por hectare.

Adubações em cobertura para o fornecimento de N e/ou K foram feitas manualmente, ao lado das linhas das culturas, sem incorporação. O milho do quarto cultivo recebeu 500 kg ha^{-1} do formulado 20-0-20 aos 18 dias após a semeadura (DAS) e, aos 29 DAS, mais 300 kg ha^{-1} de sulfato de amônio. Utilizou-se irrigação suplementar realizada por meio de aspersão convencional. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi feito sempre que necessário, mediante monitoramento.

Foram avaliadas variáveis relacionadas à disponibilidade do P residual no solo e seu aproveitamento pelas plantas, bem como ao desempenho produtivo do milho. Amostragens de solo foram realizadas aos 26 DAS do primeiro cultivo de milho e aos 5 DAS do último, coletando-se com trado calador amostras nas linhas de adubação em cada parcela, na profundidade de 0-10 cm. As amostras enviadas ao laboratório foram compostas de cinco

amostras simples e analisadas quanto aos teores de P disponível pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, conforme metodologias descritas em Silva (2009).

No estádio V6 (seis folhas expandidas), foram coletadas quatro plantas por parcela para se avaliar o efeito residual dos tratamentos sobre o arranque inicial do milho, por meio de determinações da produção de massa seca da parte aérea e do acúmulo de P na parte aérea. As plantas foram cortadas rente à superfície do solo, sendo secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante. Em seguida, o material foi pesado e moído para quantificação do teor de P de acordo com metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). A biomassa e o acúmulo de P foram convertidos em kg ha⁻¹, considerando uma população de 66.000 plantas ha⁻¹. No florescimento, foram coletadas amostras do terço médio (sem nervura) de folhas localizadas abaixo e em posição oposta à espiga, em seis plantas por parcela, para a determinação dos teores foliares do nutriente.

A colheita do milho foi realizada manualmente na área útil das parcelas. Foram medidos a altura de plantas e de espigas, o diâmetro do colmo a 10 cm do solo, a umidade e peso dos grãos, corrigindo-se a produtividade para 13% de umidade. Determinou-se o peso de 1.000 grãos e amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, para posterior análise do teor de P. Foi calculado o conteúdo de P nos grãos, correspondente à exportação do nutriente.

Também foi apurada a produtividade global dos quatro cultivos, bem como a exportação total de P com as colheitas dos grãos em cada tratamento. A partir desses dados, estabeleceu-se a relação P exportado / P aplicado, descontando a contribuição do solo (exportação no tratamento controle), a fim de se obter um índice associado à eficiência de recuperação do P advindo da adubação.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando ocorreram diferenças significativas em função dos tratamentos (teste F), foi aplicado o teste de Tukey às médias ou realizada análise de regressão, com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P disponível no solo para o quarto cultivo sequencial após a aplicação dos tratamentos foram influenciados apenas pelas doses de P_2O_5 total fornecidas (Tabela 1), evidenciando, portanto, que as diferentes fontes não interferiram no efeito residual determinado com os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3. Houve incremento linear na disponibilidade residual de P com o aumento das doses de P_2O_5 (Figura 1 A), variando de 9,4 a 22,4 $mg\ dm^{-3}$ para o extrator Mehlich-1, e de 31,8 a 51,8 $mg\ dm^{-3}$ no caso do extrator Mehlich-3.

Os maiores valores de P obtidos quando se utilizou a solução Mehlich-3 estão relacionados às características químicas desse extrator, que extrai preferencialmente o P ligado a ferro e alumínio e ao fosfato de cálcio mais solúvel (Beegle, 2005). Em trabalho conduzido para avaliar disponibilidade de P no solo para o milho, Bortolon et al. (2009) relataram que as quantidades extraídas pelo Mehlich-3 foram de 50% a 150% maiores que quando se utilizou o Mehlich-1.

O Mehlich-1 pode subestimar as quantidades de P extraídas, pois seus constituintes sofrem desgaste ao entrar em contato com os componentes de solos argilosos, os quais apresentam maior poder de adsorção de P (Novais et al., 2007; Santos et al., 2015). Já o extrator Mehlich-3, em razão de sua composição química e modo de ação, pode apresentar melhor precisão em solos que receberam a adubação com diferentes fontes de P e ser usado em uma faixa mais ampla de pH do solo (Freitas et al., 2013; Cade-Menun et al., 2018), sendo recomendado para avaliação da disponibilidade do P disponível em solos com diferentes características e níveis de fertilidade (Reis, 2016).

Embora o efeito residual (Figura 1 A) reflita bem a influência das doses crescentes de fósforo aplicadas no início do experimento, houve forte depleção da disponibilidade de P no solo com o tempo. Na amostragem realizada no primeiro cultivo, os teores de P Mehlich-1 variaram de 53,3 a 216,3 $mg\ dm^{-3}$ entre a menor e a maior dose (Martins et al., 2017), enquanto, na amostragem do quarto cultivo, situaram-se no intervalo de 9,4 a 22,4 $mg\ dm^{-3}$.

As razões para isso podem ser atribuídas à exportação pela colheita das três culturas anteriores sem correspondente reposição ao solo, mas, principalmente, ao forte caráter drenado de P do solo (Novais et al., 2007) da área experimental, um Latossolo de cerrado com alto teor de argila. Machado et al. (2011), avaliando o P disponível após aplicação de doses de fosfato monoamônico em solos com diferentes texturas, relataram que a disponibilidade ao longo do tempo decresceu proporcionalmente mais nos solos argilosos em relação aos arenosos, em função da adsorção do nutriente pelos colóides.

Apesar de não terem sido encontradas diferenças estatisticamente significativas nos teores de P disponível no solo em função das fontes, houve tendência de maiores valores associados aos tratamentos com fertilizantes organominerais, com médias de 18,1 e 14,9 mg dm⁻³ de P Mehlich-1 para OBAY e OSTP, respectivamente, enquanto a fonte mineral STP apresentou 11,9 mg dm⁻³. Comportamento semelhante foi observado quando se utilizou o extrator Mehlich-3, com médias de 43,2; 39,6 e 35,1 mg dm⁻³ para OSTP, OBAY e STP.

De acordo com Kiehl (2013), o aumento do P disponível no solo pelos fertilizantes organominerais pode ser atribuído ao efeito da matéria orgânica presente neles. Em um trabalho avaliando o P na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos nas formas mineral e organomineral, Fernandes et al. (2015) reportaram que a matéria orgânica presente neste pode ter contribuído para reduzir a fixação do nutriente no solo, favorecendo a presença de maiores teores em solução.

A produção de massa seca da parte aérea e o acúmulo de P nas plantas no estágio V6, foram influenciados de forma semelhante pelos tratamentos aplicados (Tabela 1), com efeito isolado de fontes e doses do nutriente. Houve resposta linear ao aumento das doses de P₂O₅ para essas duas variáveis (Figura 1 B, C), comprovando que o efeito residual foi diretamente proporcional às quantidades de P fornecidas à época do primeiro cultivo, sendo que um maior suprimento inicial repercutiu positivamente em melhor arranque do milho no quarto cultivo.

A diferença no arranque ou vigor inicial pode ser relevante para o rendimento de grãos da cultura quando as plantas passam por estresses no decorrer do ciclo, a exemplo de deficiência hídrica ou incidência de doenças que constituem adversidades comuns, sobretudo nas lavouras de safrinha. No início do desenvolvimento, qualquer anormalidade que interfira na área foliar, no metabolismo e no sistema radicular irá afetar o potencial produtivo do milho (Fancelli, 2010). Assim sendo, maiores concentrações de P no solo potencializam o arranque das plantas, garantindo um estabelecimento mais vigoroso da cultura, o que pode contribuir para ganhos ou ao menos salvaguarda da produtividade, dependendo das circunstâncias de cada cultivo.

A variação do acúmulo de fósforo pelas plantas em função das doses fornecidas decorreu principalmente das diferenças de produção de biomassa, uma vez que os teores de P determinados na parte aérea em V6 se mantiveram com valores próximos de $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ para todos os tratamentos. A fonte que proporcionou maior biomassa e acúmulo de P nas plantas foi o OSTP, que resultou em 2.700 kg ha^{-1} de massa seca da parte aérea e $7,89 \text{ kg ha}^{-1}$ de P acumulado até o estágio V6, valores estes, estatisticamente superiores aos respectivamente observados para STP ($2.336 \text{ e } 6,74 \text{ kg ha}^{-1}$) e OBAY ($2.185 \text{ e } 6,27 \text{ kg ha}^{-1}$).

Diferenças entre fontes minerais e organominerais quanto à produção de massa seca e absorção de P pelo milho nem sempre são detectadas em trabalhos dessa natureza. Ao comparar efeitos da adubação fosfatada mineral e organomineral em experimento com vasos utilizando solo Argissolo Vermelho Amarelo arenoso, Tiritan et al. (2010) verificaram que a produção de matéria seca pelo milho aos 45 dias após a emergência, aumentou em função das doses de fósforo, independente da fonte utilizada. Sá et al. (2017), avaliando num ensaio em vasos a eficiência agrônômica e de recuperação de P de fontes mineral e organomineral produzido com cama de frango, em solos arenoso e argiloso, relataram que não houve diferença entre os fertilizantes para a acumulação de P em plantas de milho após quatro cultivos sucessivos sem reposição do nutriente. Neste caso, portanto, o efeito residual foi igual para ambos os fertilizantes.

O estado nutricional do milho, aferido pelo teor de P na folha indicadora à época do florescimento, foi influenciado pelo efeito de doses do nutriente, com incremento linear (Figura 1 D), mas não foi afetado pelas fontes avaliadas (Tabela 1). O tratamento controle apresentou teor foliar de P de 2,29 g kg⁻¹, enquanto os que receberam adubação fosfatada no primeiro cultivo expressaram valores dentro da faixa de 2,50 a 3,50 g kg⁻¹, considerada adequada para a cultura segundo Malavolta et al. (1997). Portanto, teor foliar de P no florescimento não foi sensível ao efeito residual das fontes OSTP (2,78 g kg⁻¹), OBAY (2,70 g kg⁻¹) e STP (2,66 g kg⁻¹).

As características de altura de plantas e de espigas, por ocasião da colheita, não sofreram influência de nenhum dos tratamentos, mas o diâmetro de colmo variou pela interação de fontes e doses de fósforo (Tabela 1). O diâmetro de colmo apresentou resposta linear às doses de P₂O₅ quando se utilizou as fontes OBAY e SPT, enquanto modelo quadrático foi o de melhor ajuste no caso do OSTP (Figura 2 A). O maior diâmetro do colmo (27,05 mm) foi estimado para o efeito residual da aplicação de 221 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do fertilizante OSTP.

O diâmetro de colmo é uma característica importante, pois relaciona-se com a capacidade da planta em acumular nutrientes e posteriormente remobilizá-los para compor os grãos durante o seu enchimento (Cruz et al., 2008). Além disso, o desenvolvimento robusto do colmo reduz o acamamento e a quebra de plantas no campo, favorecendo a colheita mecanizada e a qualidade dos grãos.

De forma análoga ao diâmetro do colmo, a produtividade de grãos refletiu interação significativa entre as fontes e as doses de fósforo utilizadas (Tabela 1). Já o peso de mil grãos diferiu estatisticamente apenas no contraste dos tratamentos do fatorial (265 g) com o tratamento controle (229 g).

A produtividade aumentou linearmente com o incremento das doses de P₂O₅ quando as fontes utilizadas foram o OBAY e SPT, seguiu comportamento quadrático para a fonte OSTP (Figura 2 B). O ponto de máxima produtividade (10.970 kg ha⁻¹) no quarto cultivo foi estimado

para o efeito residual da dose de 201 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do fertilizante OSTP, aplicada à época do primeiro cultivo. A partir desta dose pode ter ocorrido consumo de luxo de P, não resultando em acréscimo de produtividade e evidenciando que a melhor resposta ao OSTP ocorreria com menor gasto de P₂O₅ em relação ao OBAY e STP.

O efeito linear no caso da fonte OBAY pode ser associado à característica de menor solubilidade do fosfato reativo, o que, embora reduza a chance de fixação pelo solo, acarreta uma disponibilização mais lenta do P (Novais & Smyth, 1999; Resende et al., 2006), suprimindo menores quantidades do nutriente até o quarto cultivo, comparativamente às fontes envolvendo o superfosfato triplo. Já entre estas, há nítida diferença de resposta nas doses intermediárias, em que a combinação com cama de frango promoveu produtividades significativamente maiores que o uso isolado do STP (Figura 2 B).

A superioridade do OSTP é comprovada também ao se comparar as fontes na média das doses aplicadas: OSTP (10.280 kg ha⁻¹) = OBAY (9.764 kg ha⁻¹) > STP (9.478 kg ha⁻¹). A aparente perda de eficiência do STP aplicado puro pode estar relacionada à propensão dos fosfatos de alta solubilidade favorecerem a redução de labilidade do P liberado e não absorvido pelas plantas, mediante processos de adsorção e precipitação de fosfato no solo (Novais et al., 2007).

De acordo com Benites (2011), os ânions orgânicos presentes nos organominerais competem pelos sítios de adsorção de P, reduzindo sua fixação pelo solo e, conseqüentemente, mantendo o nutriente mais disponível às plantas. Além disso, haveria benefícios decorrentes do estímulo à atividade microbiana no entorno da área de aplicação do fertilizante, devido ao fornecimento de energia para os microrganismos pela matéria orgânica constituinte do organomineral. Ramos et al. (2017) reportam que se pode esperar incremento de resposta produtiva em anos subsequentes à aplicação de organominerais a base de cama de frango, devido ao efeito residual e mineralização da fração orgânica desses fertilizantes. Por fim, há que se considerar também

que, além do P, outros nutrientes contidos no resíduo animal que compõe o fertilizante organomineral irão contribuir na nutrição da cultura.

Os resultados de conteúdo de P nos grãos seguiram os mesmos padrões de resposta já relatados para a produtividade (Tabela 1, Figura 2 C). Tendo em vista que não houve efeito dos tratamentos sobre o teor de P nos grãos, cujo valor médio foi de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$, as diferenças de conteúdo derivaram das variações na quantidade de grãos produzida conforme os tratamentos. O máximo conteúdo de P, estimado para a dosagem de 245 kg ha^{-1} de OSTP, foi de $20,76 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondendo ao maior valor de exportação do nutriente com a colheita. Na média das doses, a exportação vinculada às fontes OSTP, STP e OBAY foi de $17,31$; $15,38$ e $15,35 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, respectivamente.

As respostas observadas em relação ao arranque inicial (massa seca e acúmulo de P em V6), diâmetro do colmo ao final do ciclo, produtividade e conteúdo de P nos grãos comprovam que o efeito residual da fonte OSTP impulsionou o crescimento e a absorção de P pelo milho, assegurando maior potencial produtivo em relação ao STP puro e ao organomineral contendo fosfato reativo de Bayóvar.

A facilidade de liberação do P contido no STP, combinada ao efeito protetor proporcionado pelos componentes orgânicos da cama de frango, parece ter associado capacidade de suprimento e prevenção de reações de indisponibilização do nutriente ao longo do tempo, conferindo maior eficiência agrônômica do OSTP no quarto cultivo. Tal cenário é plausível, considerando que as características físicas, químicas e físico-químicas dos fertilizantes interferem na cinética de disponibilização de P (Hansel et al., 2014) e a matéria orgânica contribui para reduzir a fixação de P nos hidróxidos de ferro e alumínio do solo, mantendo o nutriente disponível por maior tempo em um sistema de produção (Fernandes et al., 2015).

Até o terceiro cultivo do presente experimento, a produtividade acumulada de grãos não havia sido influenciada pelas fontes ou doses de fósforo, com contraste significativo apenas entre a média dos tratamentos com adubação e a do tratamento controle (Martins et al., 2017),

evidenciando que a reserva no solo criada pelas adubações pregressas, e tamponada pela textura muito argilosa, era suficiente para suprir a maior parte da demanda das culturas. Entretanto, a inclusão da colheita do quarto cultivo desencadeou diferenciação da resposta cumulativa pelo efeito das fontes e das doses de P_2O_5 , sem, contudo, haver interação desses fatores (Tabela 1). Na produtividade global após quatro cultivos (Figura 3 A), a média do tratamento controle ($22.685 \text{ kg ha}^{-1}$) distanciou-se da média do fatorial ($28.569 \text{ kg ha}^{-1}$) e mesmo da média obtida no menor nível de adubação ($27.510 \text{ kg ha}^{-1}$), constatando-se ganho linear com o incremento da dose de P_2O_5 .

Entre as fontes, a produtividade acumulada de grãos confirma a superioridade do OSTP ($29.458 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação ao STP ($28.319 \text{ kg ha}^{-1}$), o qual, por sua vez, não diferiu do OBAY ($27.930 \text{ kg ha}^{-1}$). Tais resultados reforçam a importância de avaliações de mais longo prazo, envolvendo vários cultivos sucessivos, para se discriminar de forma consistente as respostas a diferentes fontes e níveis de fornecimento de fósforo em sistemas de culturas anuais, sobretudo em solos que já foram cultivados e adubados anteriormente (fertilidade construída).

A quantidade total de fósforo exportada nos grãos dos quatro cultivos foi crescente com as doses fornecidas no início do experimento, mas uma análise da relação P exportado/aplicado, que dá ideia da taxa de recuperação do P advindo da adubação, revela que o aproveitamento dos fertilizantes diminuiu cerca de 2,2 vezes do menor para o maior nível de adubação (Figura 3 B). Descontada a contribuição das reservas preexistentes no solo, o percentual do P aplicado que foi removido com as colheitas variou de 48 a 22% da menor para a maior dose. Considerando que a maior proporção do P absorvido e acumulado nos tecidos das plantas é direcionada para os grãos em culturas anuais, havendo recuperação apenas parcial do P dos fertilizantes, admite-se que grande parte do que é adicionado nas adubações acaba retido pelos componentes edáficos. Tal fenômeno é conhecido e relevante nos solos argilosos da região do Cerrado. Sousa & Lobato (2003) estimaram valores de exportação total da ordem de 62 a 35%

do P fornecido na adubação, após 13 colheitas de milho em latossolo argiloso de cerrado, em uma relação inversa às quantidades aplicadas.

De todo modo, atualmente se sabe que as formas de P retidas no solo, em graus variados de labilidade, não representam efetiva perda, mas passam a compor estoques em grande parte passíveis de contribuir no suprimento do nutriente para cultivos posteriores, mantendo a condição de fertilidade construída (Resende et al., 2016). Logo, a partir dos resultados obtidos, comprovou-se a eficiência técnica e a alternativa de uso de fertilizantes fosfatados organominerais na adubação de manutenção em sistemas de produção de grãos, com efeito residual que pode ser considerado na composição de estratégias de manejo de longo prazo visando a conservação do potencial produtivo do solo.

CONCLUSÕES

As doses crescentes de P_2O_5 fornecidas no primeiro cultivo influenciam diretamente os níveis de disponibilidade residual de P no solo, refletindo em incrementos no arranque inicial de plantas, absorção de P, diâmetro do colmo e produtividade de grãos de milho no quarto cultivo.

O fertilizante superfosfato triplo agregado à cama de frango mostra-se mais eficiente em comparação à sua aplicação isolada, promovendo maior produtividade de grãos de milho e maior produtividade acumulada na sequência das culturas.

A fonte organomineral com superfosfato triplo apresenta efeito residual que resulta em melhor desempenho produtivo do milho e ponto de máxima eficiência técnica numa dose intermediária, enquanto o organomineral com fosfato de Bayóvar proporciona ganho linear até a maior dose de P_2O_5 aplicada.

As fontes organominerais constituem alternativas tecnicamente viáveis para o fornecimento de P nas adubações de manutenção de sistemas de produção de grãos em solo de fertilidade construída.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CATARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- BEEGLE, D. Assessing soil phosphorus for crop production by soil testing. In: SIMS, J. T. et al. (Ed.). **Phosphorus: agriculture and the environment**.Madison: SSSA, 2005. p. 123-144.
- BENITES, V. M. **Produção de fertilizantes organomineras utilizando resíduos orgânicos de sistemas de produção animal: uma alternativa para agregação de valor aos resíduos e redução do impacto ambiental**. Embrapa Solos - Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial - www.sbera.org.br - informativo VIII, 2011.
- CADE-MENUN, B.J.; ELKIN, K. R.; LIU, C. W.; BRYANT, R.B.; KLEINMAN, P.J.A.; MOORE JR, P.A. Characterizing the phosphorus forms extracted from soil by the Mehlich III soil test. **Geochem Trans**, v.19, n.7, p.1-17, 2018.
- CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS JÚNIOR; ALBUQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.62-68, 2008.
- FANCELLI, A.L. Milho. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: Culturas**. v.3 Piracicaba: IPNI, 2010. p. 43-89.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FERNANDES, D, M; GROHSKOPF, M.A; GOMES, E.R; FERREIRA, N.R ; BÜLL, L.T. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, v.1 p. 14-27, 2015.
- FONTOURA, S.M.V.; VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MORAES, R.P.D. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.6, p.1907-1914, 2010.

- FRANDOLOSO, J.F.; LANA, M.C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R.V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p.686-694, 2010.
- HANSEL, F.D.; AMADO, T.J.C.; BORTOLOTO, R.P.; TRINDADE, B.S.; HANSEL, D.S.S. Influence of different phosphorus sources on fertilization efficiency. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, Guarapuava-PR, v.7, n.1, p.103-111, 2014.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes organominerais. 5. ed. Atual. Piracicaba, Editora Degaspari, 2013. 142 p.
- MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H.; Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MARTINS, D.C, RESENDE, A.V, GALVÃO, J.C.C, SIMÃO, E.P, FERREIRA, J.P.C, ALMEIDA, G.O. Organomineral Phosphorus Fertilization in the Production of Corn, Soybean and Bean Cultivated in Succession. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 2407-2421, 2017.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.
- ONO, F. BENEDITO.; MONTAGNA, J.;NOVELINO, J. O.; SERAFIM, M. E.; DALLASTA, D. C.; GARBIATE, M. V. Eficiência agrônômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**, n.33, v.3, p. 727-734, 2009.
- RAMOS, L.A.; LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H.; SILVA, A.A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of Agricultural Research**, Vol. 12, n.1, p. 20-27, 2017.
- REIS, J.V. Potencial do extrator Mehlich-3 na avaliação da disponibilidade de fósforo de diferentes solos. Viçosa: UFV. 2016, 66p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa).

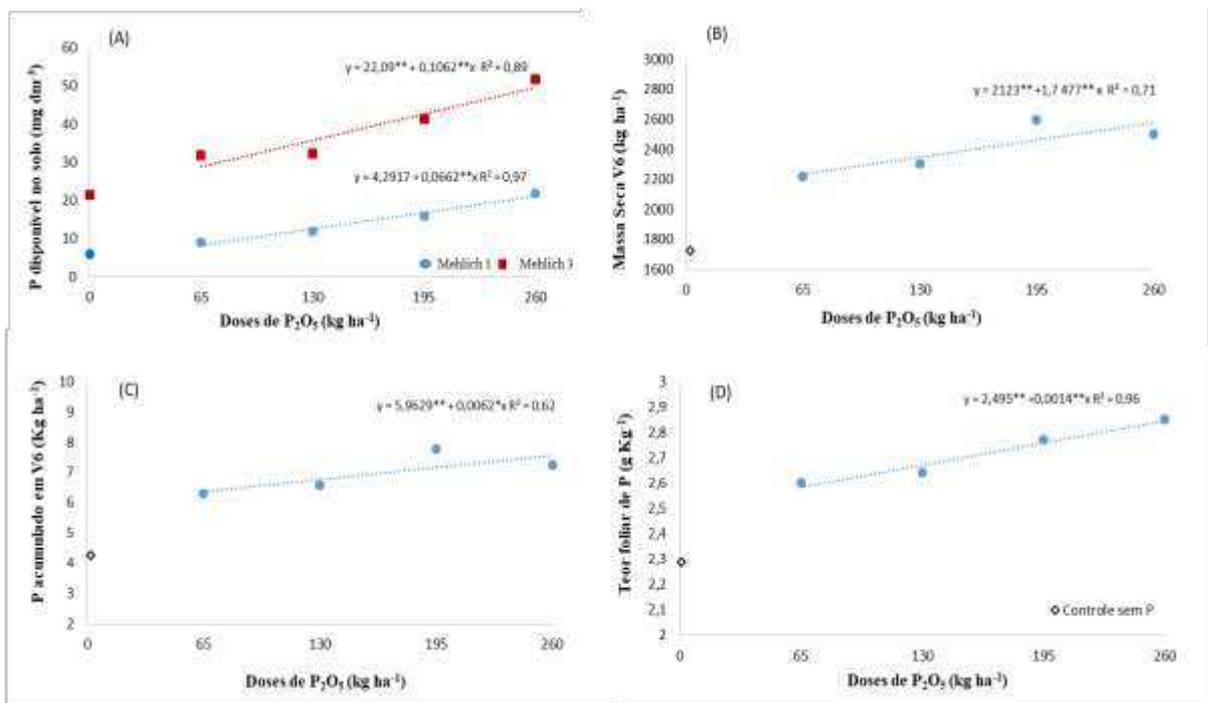
- RESENDE, A.V.; FONTOURA, S. M. V. ; BORGHI, E. ; SANTOS, F. C. ; KAPPES, C. ; MOREIRA, S.G. ; OLIVEIRA JUNIOR, A. ; BORIN, A. L. D. C. . Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, v. 156, p. 1-17, 2016.
- RESENDE, A.V. de; FURTINI NETO, A.E.; 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.453-466, 2006.
- SÁ, J.M.; JANTALIA, C.P.; TEIXEIRA, P.C.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V. M.; ARAÚJO, A.P. Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.9, p.786-793, 2017.
- SANTOS, A. F.; MENEZES, R. S. C.; FRAGA, V. S.; PÉREZ-MARIN, A. M. Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1267- 1272, 2010.
- SANTOS, L.S.; DA SILVA, L.S.; FILHO, A.G.; GRIEBELER, G. Quantidade de fósforo extraído pelas soluções de mehlich-1 e mehlich-3 em razão de diferentes velocidades de agitação, tempos de contato e temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.109-119, 2015.
- SILVA, C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p, 2009.
- SOUSA, D.M.G & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, Potafos. 16p. (Informações Agronômicas, 102), 2003.
- TIRITAN, C. S., SANTOS, D. H., BORDINI, R. A., FOLONI, J. S. S., & ONISHI, R. Y. (September). Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n.1, p. 01-07, 2010.

FIGURAS E TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância para teores de P Mehlich-1 e Mehlich-3 residuais no solo (PM1 e PM3), massa seca da parte aérea do milho no estádio V6 (MSV6), P acumulado na biomassa em V6 (PAV6), P foliar no florescimento (PF), altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), diâmetro do colmo (DC), produtividade de grãos (PRO), peso de 1000 grãos (PG), conteúdo de P nos grãos de milho (CPG), produtividade global dos quatro cultivos (PGL) e exportação de P acumulada dos quatro cultivos (EAP).

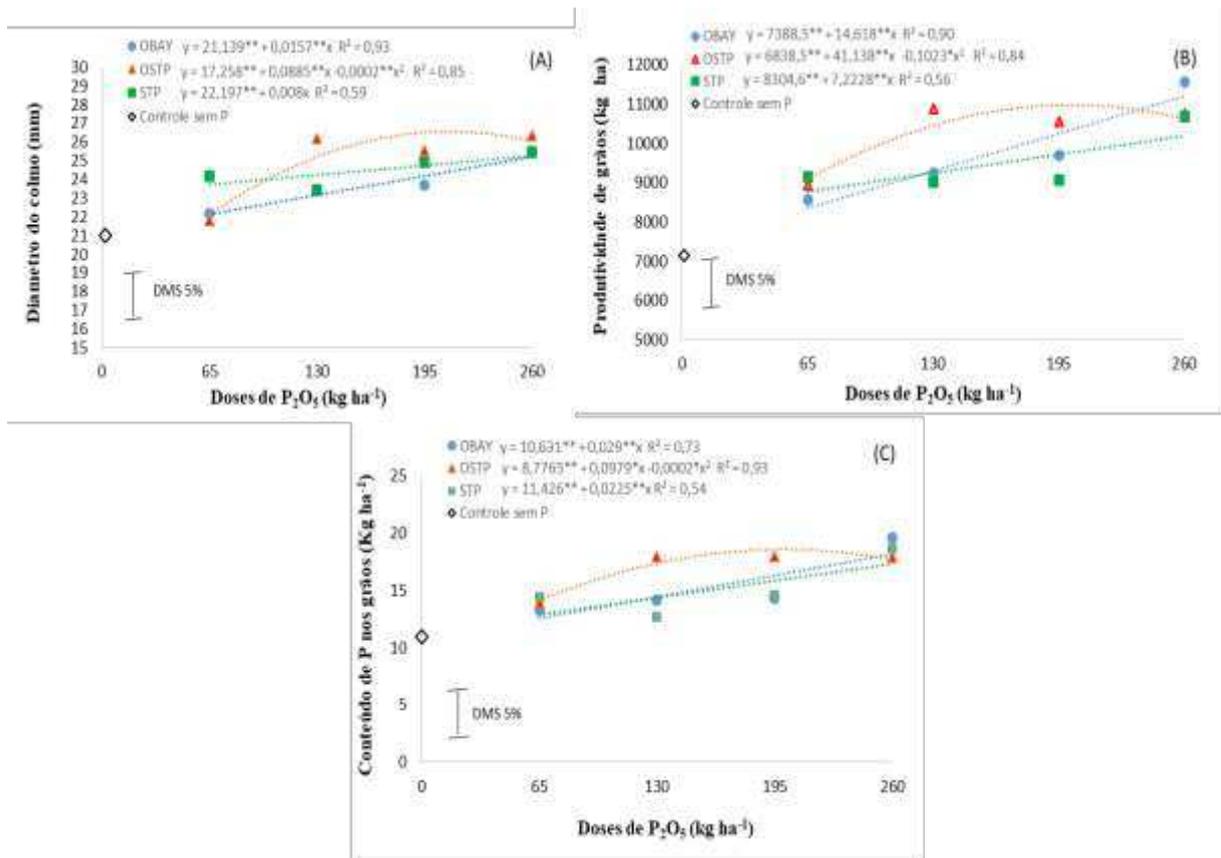
FV	GL	Quadrado médio													
		PM1	PM3	MS	PA	PF	AP	AE	DC	PRO	PG	PE	PGL	EAP	
Fert.	2	150,1	258,1	1126681,2**	11,2**	0,1	0,006	0,003	6,7*	2645484,4 *	803,0	16,03*	10085537,5*	198,7*	
Dose	3	379,6*	1058,7*	363340,7*	5,3*	0,2*	0,004	0,004	19,2**	9211030,2**	933,4	51,76**	16901421,1**	321,1**	
F*D	6	23,5	132,7	168239,1	1,3	0,1	0,007	0,008	4,9*	1669198,7*	640,9	11,55*	4463128,9	54,7	
Fat*Adic	1	280,0	408,1*	1702200,8**	27,5**	0,7**	0,021	0,013	42,5**	**	21716957,1	8490,56**	74,82**	127804944,3	1227,3**
Trat	12	155,0	1165,7	504585,0 **	6,14**	0,1**	0,007	0,006	11,9**	5388017,4 **	1074,73**	27,62**	18788254,7**	243,1	
Bloco	3	106,7	471,2	131737,4	2,9	0,0	0,007	0,010	1,8	107845,2	39,7	4,1	372468,9	44,8	
Erro	36	115,0	1025,1	98364,9	1,8	0,0	0,008	0,005	1,6	564293,9	346,7	4,1	26,85385,5	33,1	
Total	51														
CV(%)		72,3	42,4	13,3	20,0	7,4	4,0	5,9	5,3	7,8	7,1	13,1	5,8	8,6	
Média		14,3	37,9	2355,0	6,8	2,7	2,3	1,2	24,1	9654,4	262,2	15,4	28116,4	66,8	

**significativo a 1%, *significativo a 5% pelo teste F.



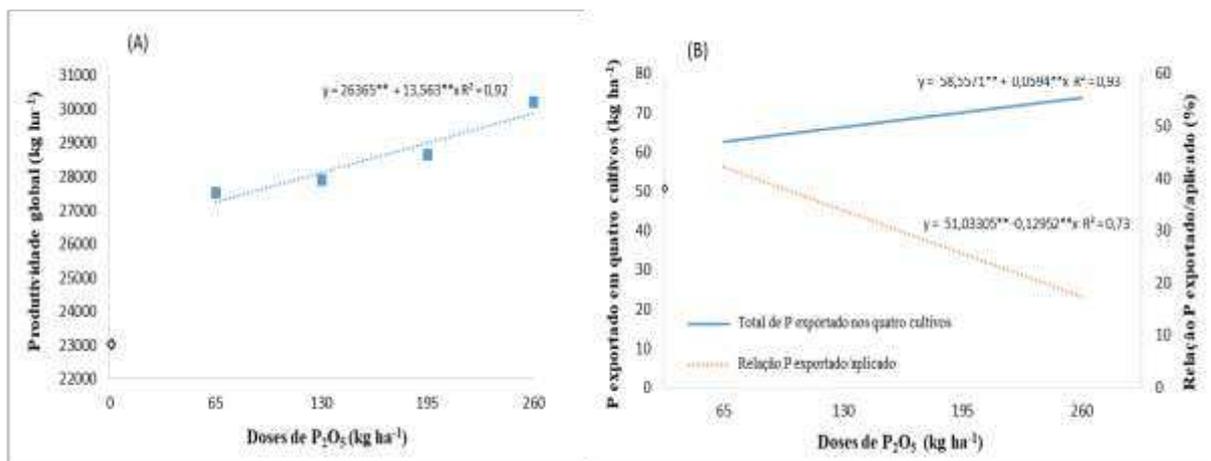
*, ** significativo a 0,05 e 0,01 nível de probabilidade, respectivamente.

Figura 1. Efeito residual de doses de P aplicadas à época do primeiro cultivo nos teores de P Mehlich-1 e Mehlich-3 nas linhas de adubação (A), produção de massa seca da parte aérea (B) e P acumulado (C) no estágio V6, e teor foliar de P no florescimento (D) do milho no quarto cultivo.



*, ** significativo a 0,05 e 0,01 nível de probabilidade, respectivamente.

Figura 2. Efeito residual de fontes e doses de P aplicadas à época do primeiro cultivo sobre o diâmetro do colmo das plantas (A), produtividade (B) e conteúdo de fósforo nos grãos (C) do milho no quarto cultivo. Barra vertical refere-se à DMS para comparação das fontes dentro de cada dose.



*, ** significativo a 0,05 e 0,01 nível de probabilidade, respectivamente.

Figura 3. Produtividade global dos quatro cultivos (A), e exportação acumulada de P pelos grãos colhidos nos quatro cultivos e relação P exportado/aplicado (B), em função das doses de P₂O₅ fornecidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições prévias de fertilidade têm grande influência no potencial de resposta de curto prazo a aplicações de fontes de P em solos argilosos da região do Cerrado, podendo ocasionar resultados confundidos e levar a interpretações equivocadas quando se considera um cultivo isolado. Respostas inicialmente semelhantes podem modificar-se com o tempo e a alternância das espécies de interesse.

O presente estudo confirmou que a experimentação em mais longo prazo, com vários cultivos sequenciais e envolvendo culturas distintas, é necessária para se discriminar de forma consistente as respostas a diferentes fontes e níveis de fornecimento de fósforo em sistemas de culturas anuais, sobretudo em solos já cultivados e adubados há mais tempo (fertilidade construída). Essa abordagem permite conclusões melhor embasadas acerca da eficiência agronômica dos fertilizantes avaliados.

A partir dos resultados obtidos, comprovou-se a eficiência técnica e a alternativa de uso de fertilizantes fosfatados organominerais, a base de cama de frango com superfosfato triplo ou fosfato reativo de Bayóvar, no manejo das adubações de manutenção de cultivos de grãos em solo de fertilidade construída.