

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Avaliação de Fertilizante Organomineral Fosfatado  
Produzido com Cama de Frango e das Perdas de  
Fósforo em Solo do Oeste da Bahia**

**Jerusa Maia e Sá**

**2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL FOSFATADO  
PRODUZIDO COM CAMA DE FRANGO E DAS PERDAS DE  
FÓSFORO EM SOLO DO OESTE DA BAHIA**

**JERUSA MAIA E SÁ**

*Sob a orientação do Professor*  
**Adelson Paulo de Araújo**

*e Co-orientação do Pesquisador*  
**José Carlos Polidoro**

Tese submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Doutora**, no  
Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área de Concentração em  
Ciência do Solo.

Seropédica, RJ  
Junho de 2017

S111a Sá , Jerusa Maia e , 1984-  
Avaliação de fertilizante organomineral fosfatado  
produzido com cama de frango e das perdas de fósforo  
em solo do oeste da Bahia / Jerusa Maia e Sá . -  
2017.  
84 f.: il.

Orientador: Adelson Paulo de Araújo.  
Coorientador: José Carlos Polidoro.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do  
Solo, 2017.

1. Erosão do solo. 2. Milho. 3. Soja. I. Paulo de  
Araújo, Adelson, 1963-, orient. II. Polidoro, José  
Carlos, 1970-, coorient. III Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Pós-Graduação em Agronomia -  
Ciência do Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

**JERUSA MAIA E SÁ**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 28/06/2017.

---

Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Juliano Bahiense Stafanato. Dr. UFRRJ

---

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ

---

Ademir Fontana. Dr. Embrapa Solos

---

Guilherme Kangussú Donagemma. Dr. Embrapa Solos

## DEDICATÓRIA

A Deus, ao meu filho Pedro, aos meus pais Davi e Mercedes, aos meus companheiros e irmãos Kellen, Elizângela, Leonardo, Juliana, Rander, Núbia e Angelaine e aos meus queridos sobrinhos Luke, Clara, Sofia e Maria.

*“Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas. O que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles.”*  
Augusto Cury.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, sabedoria e força para trabalhar. À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela formação profissional e pessoal. Ao CNPq pela bolsa concedida. À Embrapa Solos por possibilitar o desenvolvimento da minha tese. Ao meu orientador professor Adelson Paulo de Araújo, pelos ensinamentos, por me direcionar e por confiar na minha capacidade de desenvolvimento da minha tese. Ao meu co-orientador José Carlos Polidoro que me incentivou a cursar o doutorado e pela confiança em meu trabalho. À pesquisadora Cláudia Pozzi Jantalia, por disponibilizar a infraestrutura da Embrapa Agrobiologia para os ensaios de casa de vegetação e pelo suporte nos experimentos de campo. Ao pesquisador da Embrapa Solos Paulo César Teixeira, por ajudar a resolver os problemas técnicos e burocráticos decorridos na condução dos experimentos. Aos demais pesquisadores da Embrapa Solos por disponibilizar equipamentos e informações técnicas: Ademir Fontana, Guilherme Kangussú Donagemma e Alexandre Ortega Gonçalves. Ao técnico da Embrapa Solos Adoildo da Silva Melo por auxiliar na implantação das parcelas de perda de solo. Aos proprietários da Fazenda Colorado por disponibilizar área e insumos para a condução dos experimentos de campo. À Faculdade Arnaldo Horácio Ferreira por disponibilizar estufa para secagem de material vegetal. Aos diaristas de campo que foram fundamentais na instalação e finalização dos experimentos de campo: Emerson Sabini, João e Maycon. À família do Emerson Sabini por tornar a minha estadia em Luis Eduardo Magalhães com mais cara de casa. À Gabriela Cemirames pelo apoio técnico no primeiro experimento de campo. Ao estagiário Ricardo Dias pela imensa ajuda em diversos momentos. Aos amigos que ajudaram de forma direta ou indireta: Renata Costa, Paula Cordeline, Elisamara Caldeira, Talita Matos, Natália Zatorre, Natalia Rodrigues e Helena Pinheiro. Ao meu namorado e amigo Tiago Andrade pela paciência nos momentos de estresse, pelos conselhos e pelo apoio incondicional. Aos meus pais Davi e Mercedes, pelos ensinamentos, exemplo, confiança e amor incondicional oferecidos. Aos meus irmãos pelo incentivo e apoio. Aos meus sobrinhos Luke, Clara, Sofia e Maria pela simples existência. Sobretudo, ao meu filho Pedro, que apesar da imensa inocência foi capaz de compreender os momentos que mamãe dizia: “amor, mamãe está trabalhando...”.

## **BIOGRAFIA**

Jerusa Maia e Sá, nascida em 24 de março de 1984, em Ipatinga, Estado de Minas Gerais, filha de Mercedes Ribeiro de Sá Fonseca e Davi Fonseca Maia. Técnica em Economia Doméstica pelo Instituto Federal de Minas Gerais no ano de 2002. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em maio de 2005 no curso de Agronomia, com conclusão em setembro de 2009. Em 2005, iniciou atividades como estagiária do Laboratório de Epidemiologia e Patologia de Sementes no Departamento de Fitotecnia, onde foi bolsista de iniciação científica do CNPq entre agosto de 2006 e julho de 2008. Em dezembro de 2008 iniciou os estudos em Ciclagem de Nutrientes na Embrapa Agrobiologia, com uma bolsa de iniciação científica do CNPq. Em julho de 2009 ingressou no Mestrado do curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, concluindo a dissertação em novembro de 2011. Em 2012 atuou como profissional autônomo com prestação de serviços em vistorias ambientais e levantamentos topográficos. No mesmo ano obteve uma bolsa de pesquisador nível C pelo CNPq no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) da UFRJ, onde desenvolveu estudos de avaliação agrônômica de flogopitito como fonte de potássio. Em março de 2013 ingressou no doutorado do Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo, com conclusão em junho de 2017.

## RESUMO GERAL

SÁ, Jerusa Maia e. **Avaliação de fertilizante organomineral fosfatado produzido com cama de frango e das perdas de fósforo em solo do Oeste da Bahia.** 2017. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Fertilizantes organominerais podem suprir parte da demanda de nutrientes aos cultivos e garantir melhor gestão dos resíduos agrícolas. Este trabalho objetivou avaliar o desempenho agrônomo e as perdas de P por erosão em condições de campo e determinar a eficiência agrônoma e de recuperação de P em experimento de vasos, de um fertilizante organomineral (FOM) fosfatado produzido com cama de frango e monoamônio fosfato (MAP). Em casa de vegetação, foram conduzidos quatro cultivos sucessivos de milho, em vasos com 10 kg de dois Latossolos, um com textura areia franca e outro franco argilosa. Foram avaliados os fertilizantes MAP e FOM, sob cinco doses de P aplicado (0, 50, 100, 200 e 400 mg kg<sup>-1</sup>). Foi determinado o acúmulo de fitomassa e de P, a eficiência agrônoma e de recuperação dos fertilizantes, e o teor de P assimilável no solo. Os teores de P assimilável foram maiores com o MAP no solo areia franca, sem diferenças entre fertilizantes no solo franco argiloso. O FOM promoveu maior produção de matéria seca do milho e maior eficiência agrônoma no primeiro cultivo. O acúmulo de P e a eficiência de recuperação de P não diferiram entre os fertilizantes. No experimento de campo foram avaliados o FOM, MAP, superfosfato simples (SSP), nas doses de 0, 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com adubação a lanço ou enterrada no sulco do plantio, em um Latossolo Amarelo de textura franco arenosa, no município de Luis Eduardo Magalhães, BA, em cultivos de milho e soja em sucessão. Foram avaliados os acúmulos de fitomassa e P na parte aérea, produção de grãos, acúmulo de P nos grãos e teores de P assimilável no solo. Em cada parcela, folhas de aço galvanizado foram cravadas no solo para delimitar uma área de 3 m<sup>2</sup> para avaliação das perdas de solo e de P por erosão superficial. No cultivo do milho, a adubação localizada promoveu maior produção de grãos, acúmulo de fitomassa e P na parte aérea, do que adubação a lanço. O MAP proporcionou maior acúmulo de P nos grãos de milho. O aumento da dose de P no FOM e MAP aplicados a lanço acarretou maior acúmulo de P nos grãos de milho. No cultivo da soja não houve efeito de fontes, doses e formas de aplicação sobre a produtividade de grãos, acúmulos de P e N nos grãos e acúmulo de fitomassa. O FOM e MAP promoveram maiores acúmulos de P e N na fitomassa da soja em relação ao SSP. A adubação a lanço promoveu maiores teores de P assimilável no solo após o cultivo do milho, enquanto após o cultivo da soja, a adubação localizada conferiu maiores teores. A adubação a lanço promoveu maiores perdas de P por erosão. O desempenho do FOM foi similar aos fertilizantes minerais, o que indica bom potencial de uso da cama de frango em formulações organominerais.

**Palavras-chave:** Erosão do solo. Milho. Soja.

## GENERAL ABSTRACT

SÁ, Jerusa Maia e. **Evaluation of phosphate organomineral fertilizer produced with chicken litter and of phosphorus losses in soil of the West of Bahia State.** 2017. 84p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2017.

Organomineral fertilizers can supply part of the nutrient demand to crops and ensure better management of agricultural wastes. This work aimed to evaluate the agronomic performance and the losses of P by erosion under field conditions and to determine the agronomic and P recovery efficiency in pot experiments, of a phosphate organomineral fertilizer (OMF) produced with chicken litter and monoammonium phosphate (MAP). In greenhouse, four successive maize crops were carried out in pots with 10 kg of two Latossols, one of sand texture and other with clay loam. MAP and OMF were evaluated under five levels of P applied (0, 50, 100, 200 and 400 mg kg<sup>-1</sup>). The phytomass and P accumulation, the agronomic and fertilizer recovery efficiency, and soil available P were determined. Levels of available P were higher with MAP in sand soil, without differences between fertilizers in the clay loam soil. The OMF promoted higher maize dry matter and agronomic efficiency in the first crop. The accumulation of P and P recovery efficiency did not differ among fertilizers. In the field experiment, OMF, MAP, single superphosphate (SSP) were evaluated at 0, 40, 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup> levels of applied P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, with surface-broadcasted fertilization or localized fertilization in the furrow, in a Yellow Latosol of sandy loam texture, in the municipality of Luis Eduardo Magalhães, State of Bahia, in corn and soybean crops in succession. The accumulation of phytomass and P in shoots, grain yield, accumulation of P in grains and soil available P were evaluated. In each plot, galvanized steel sheets were drilled in the soil to delimit an area of 3 m<sup>2</sup> for evaluating soil and P losses due to surface erosion. In corn cultivation, localized fertilization promoted greater grain yield, phytomass accumulation and P accumulation in shoots, than surface-broadcasted fertilization. MAP provided greater accumulation of P in corn grains. Increased applied levels of P as OMF and MAP resulted in greater accumulation of P in corn grains in surface-broadcasted fertilization. In soybean cultivation there was no effect of sources, levels and forms of application on grain yield, P and N accumulations in grains and phytomass accumulation. The FOM and MAP promoted greater accumulations of P and N in the soybean phytomass as compared to SSP. The surface-broadcasted fertilization promoted higher levels of soil available P after corn cultivation, while after soybean cultivation, localized fertilization conferred higher levels. The surface-broadcasted fertilization promoted higher P losses due to erosion. The performance of OMF was similar to mineral fertilizers, which indicates good potential of using chicken litter in organomineral formulations.

**Key words:** Soil erosion. Corn. Soybean.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.	Importância do Fósforo na Agricultura.....	3
2.2.	Formas do Fósforo no Solo.....	4
2.3.	Fertilizantes Organominerais.....	5
2.4.	Manejo da Adubação Fosfatada.....	6
2.5.	Perdas de Fósforo por Erosão.....	7
3.	CAPÍTULO I - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL FOSFATADO GRANULADO COM CAMA DE FRANGO EM COMPARAÇÃO AO MONOAMÔNIO FOSFATO.....	9
3.1.	RESUMO.....	10
3.2.	ABSTRACT.....	11
3.3.	INTRODUÇÃO.....	12
3.4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.6.	CONCLUSÕES.....	20
4.	CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E PERDAS DE FÓSFORO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL FORMULADO COM CAMA DE FRANGO, SOB DIFERENTES FORMAS DE APLICAÇÃO NO OESTE DA BAHIA.....	21
4.1.	RESUMO.....	22
4.2.	ABSTRACT.....	23
4.3.	INTRODUÇÃO.....	24
4.4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.4.1	Descrição da Área Experimental.....	26
4.4.2	Descrição e Caracterização do Experimento.....	27
4.4.3	Fitomassa da Parte Aérea e Acúmulo de Fósforo das Culturas.....	29
4.4.4	Análises de Solo.....	30
4.4.5	Determinação das Perdas de Solo por Erosão.....	30
4.4.6	Rendimento de Grãos.....	31
4.4.7	Análise Estatística.....	31
4.5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.5.1	Fitomassa de Parte Aérea e Acúmulo de Fósforo nas Plantas.....	32
4.5.2	Fitomassa de Parte Aérea e Acúmulo de Fósforo nas Plantas de Soja.....	37

4.5.3	Produção de Grãos de Milho.....	41
4.5.4	Produção de Grãos de Soja .....	45
4.5.5	Fósforo Assimilável no Solo.....	50
4.5.6	Fósforo Perdido por Erosão .....	56
4.6.	CONCLUSÕES .....	61
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
7.	ANEXOS.....	72

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

O oeste da Bahia integra a região conhecida como Matopiba (delimitação geográfica composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), considerada como a última grande fronteira agrícola do país. Nestas áreas, a produção de grãos é desenvolvida em solos de textura arenosa e média, também conhecidos como solos de textura leve, que ocupam cerca de 20% desse território (Lumbreras et al., 2015). Esses solos são caracterizados por apresentar baixa fertilidade, suscetibilidade à erosão e deficiência hídrica em condições de sequeiro (Ramalho Filho & Beek, 1995). Os baixos conteúdos de argilas nos solos permitem que a adição de pequenas doses de P seja satisfatória para elevar os conteúdos disponíveis no solo. Neste contexto, a adoção de práticas de manejo da adubação fosfatada que possibilitem maior produção e redução das perdas de P por erosão deve ser considerada.

A crescente demanda por fertilizantes na agricultura tem suscitado preocupações no seu suprimento e nos possíveis impactos ambientais ocasionados pelo manejo inadequado da adubação fosfatada. O fornecimento de P interfere diretamente na produção agrícola, principalmente na fase inicial de desenvolvimento das plantas. A quantidade recomendada para os cultivos é superior à demanda das plantas em decorrência da baixa eficiência no uso do nutriente (Kochian, 2012), ocasionado pela intensa adsorção de fosfato nos solos tropicais (Furtini Neto et al., 2001). O aumento das áreas de plantio, a tecnificação da agricultura em países em desenvolvimento, o esgotamento das reservas de apatitas e a baixa eficiência da adubação fosfatada, têm propiciado o aumento nos custos dos fertilizantes. Por outro lado, este quadro viabiliza a exploração de novas fontes para o suprimento de P e o desenvolvimento de práticas de manejo que promovem melhor eficiência no uso do nutriente.

Os fertilizantes organominerais (FOM) têm se destacado como uma fonte promissora de nutrientes, principalmente aqueles desenvolvidos a partir de dejetos animais. Os polos de produção de monogástricos, animais que liberam em seus excrementos a maior parte do P ingerido, encontram-se concentrados, principalmente, nas regiões Sul e Centro Oeste do Brasil, acarretando a produção de grandes volumes de dejetos que representam uma alta carga poluidora do meio ambiente que podem promover a eutrofização dos corpos hídricos.

Em 2012, a produção estimada de cama de frango foi de 16 milhões de toneladas no Brasil (Schneider et al., 2012). A produção de formulações organominerais a partir da cama de frango pode agregar valor e permitir uma gestão mais segura do resíduo. Além disto, os FOM podem ser transportados destas regiões de alta concentração para as demais localidades. A associação de fontes minerais aos resíduos orgânicos enriquece o FOM com nutrientes e permite a produção de fórmulas comerciais específicas para cada cultura, aumentando a uniformidade nas aplicações e disponibilidade de nutrientes, acarretando em uma menor taxa de aplicação. Neste contexto, é de extrema importância garantir que os dejetos de aves possam constituir fertilizantes eficientes de forma a promover a proteção do ambiente e elevação da produtividade das culturas.

De forma a melhorar a eficiência das adubações fosfatadas e otimizar as etapas de implantação das culturas de grãos no campo, diversas formas de aplicação de fertilizantes vêm sendo utilizadas. Na região Oeste do estado da Bahia, a adubação fosfatada a lanço tem sido largamente empregada, favorecida principalmente pelo relevo plano a suave, baixos conteúdos de argila no solo (Freitas et al., 2014) e pela possibilidade de agilizar o plantio das culturas. No entanto, a maior exposição dos fertilizantes fosfatados aos fatores erosivos pode

aumentar as perdas por escoamento superficial e trazer prejuízos ambientais através da eutrofização dos corpos hídricos.

Diante do exposto, o presente trabalho apresentou como hipótese que fertilizantes organominerais produzidos a partir de cama de frango apresentam eficiência agrônômica similar às fontes de P solúveis e que a forma de aplicação dos fertilizantes interfere sobre a produtividade de grãos e perdas de P por erosão em solo da região oeste da Bahia.

Neste contexto, os objetivos específicos foram:

Capítulo I: Eficiência agrônômica de fertilizante organomineral fosfatado granulado com cama de frango em comparação ao monoamônio fosfato.

a) Avaliar a eficiência agrônômica e de recuperação de P, de fertilizante fosfatado organomineral granulado com cama de frango e monoamônio fosfato (MAP), comparativamente ao MAP em solos com diferentes capacidades de retenção de P em casa de vegetação.

Capítulo II: Avaliação agrônômica e perdas de fósforo de fertilizante organomineral formulado com cama de frango, sob diferentes formas de aplicação no oeste da Bahia.

a) Analisar o desempenho agrônômico do FOM comparativamente a fertilizantes fosfatados solúveis, sob as formas de adubação fosfatada localizada ou a lanço, em solo de área do Cerrado no oeste da Bahia;

b) Avaliar a influência das fontes e formas de adubação sobre as perdas de P por erosão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Importância do Fósforo na Agricultura

O Brasil ocupa a sexta colocação mundial na produção de adubos fosfatados: no ano de 2011 a produção de concentrado atingiu 6,5 milhões de toneladas, representando 2,49% da produção mundial, estimada em 261 milhões de toneladas (USGS, 2017). A China destaca-se como líder no ranking dos países produtores de concentrados fosfáticos, perfazendo um total de 72 milhões de toneladas, seguida pelos EUA, Marrocos, Rússia, Tunísia, Brasil e Jordânia (ANDA, 2014).

Estima-se que no Brasil haja 310 milhões de toneladas de minério que contenha fosfato, distribuídos nos estados de Minas Gerais (68%), Goiás (14%), São Paulo (6%) e demais 12% (USGS, 2017). Apesar de ser um dos grandes produtores mundiais, o Brasil não possui autosuficiência deste insumo, sendo dependente de importações e das oscilações na cotação do dólar. Os altos preços dos fertilizantes minerais exibidos no mercado e o uso ineficiente poderão, em médio prazo, inviabilizar alguns setores da agropecuária brasileira.

A produtividade das culturas está intimamente ligada à disponibilidade de P no solo. Este nutriente essencial é constituinte do material genético (Bielecki, 1973), participa dos compostos energéticos como o ATP, atuando na transferência e armazenamento de energia, na translocação e no processo fotossintético (Shuman, 1994). Também está presente na síntese de amido e sacarose, no metabolismo de carboidratos (Mitra et al., 1993), atua no suporte estrutural de membranas (Bielecki, 1973), na fixação de N<sub>2</sub> como ativador da nitrato redutase (Oji et al., 1987). Além disto, o incremento no suprimento de P às plantas aumenta a absorção e mobilização do nitrato das raízes ao caule (Schjørring, 1986).

O P constitui um dos nutrientes mais limitantes à produção das culturas agrícolas em virtude de sua ampla deficiência nos solos tropicais (Santos et al., 2011). Estes solos apresentam elevada acidez, baixa fertilidade, e, sobretudo, baixos teores de P total e P disponível (Raij, 1991). Na maioria das situações, a eficiência da adubação fosfatada é muito baixa (Kochian, 2012), em função das reações de fixação e precipitação do P nos solos (Raij, 1991), o que diminui a sua disponibilidade. Apenas cerca de metade do fosfato aplicado como fertilizante é aproveitado pelos cultivos (Cunha et al., 2010).

No solo, a disponibilidade de nutrientes é representada pelos compartimentos de intensidade (solução do solo) e o fator quantidade (fase sólida que supre nutrientes à solução). O fator capacidade, que determina a dinâmica de reposição, é denominado de poder tampão ou taxa de reposição, que está em função da energia de ligação e pela difusividade do íon na solução do solo (Alvarez, 1996). As metodologias de avaliação da quantidade de P disponível que dão suporte à recomendação de adubação predizem a quantidade de P presente no fator quantidade, que suplementaria o fator intensidade. A taxa de absorção dos nutrientes pelo sistema radicular das plantas é determinada pela quantidade das formas disponíveis presentes na solução do solo. O contato das raízes com o nutriente se dá por difusão ou interceptação radicular (Barber, 1995).

À medida que o P presente no solo é utilizado pelas plantas, o mesmo deverá ser fornecido pela adição de fertilizantes, porém algumas medidas para reduzir as perdas deste nutriente no solo, tais como correção do pH do solo, utilização de fertilizantes granulados ou de liberação gradual, devem ser adotadas para que a planta possa competir com as superfícies

fixadoras de P. Os solos intemperizados presentes no Cerrado possuem alta capacidade de indisponibilização do íon fosfato às plantas devido às reações de fixação (Raij, 1991), o que tem conferido uma baixa eficiência dos adubos fosfatados (Kochian, 2012).

Os altos investimentos iniciais com a adubação fosfatada têm dificultado a exploração efetiva do potencial do solo, pois a correção da deficiência de P se faz normalmente pela aplicação de fosfatos altamente solúveis, como são os superfosfatos e os fosfatos de amônio.

Quando fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados ao solo, o contato do grânulo com a água disponibiliza ao solo uma solução saturada com fosfato monocálcico, fosfato dicálcico e ácido fosfórico, estes acidificam a região circunvizinha fazendo com que o pH alcance valor 1,5. À medida que esta solução ácida se move no solo, ocorre a solubilização dos oxihidróxidos de Fe e Al, favorecendo a adsorção do fosfato (Gatiboni, 2003). Se houver alta concentração de Ca no solo, haverá a formação de fosfatos de cálcio. A forma do P na solução do solo depende da fonte de P do fertilizante adicionado ao solo, com diferentes níveis de solubilidade e composição química, irá governar as reações de dissolução, adsorção e precipitação (Ernani & Barber, 1991).

O adequado fornecimento de P às plantas é favorecido por um sistema radicular bem desenvolvido, alta concentração de água no solo e grande diferença de concentração de P entre a solução mais próxima à superfície das raízes e a mais distante (Ruiz et al., 1988). A adubação fosfatada é prática indispensável para obtenção de altas produtividades. Além disto, as práticas de adubação devem atentar-se para o aumento da eficiência de utilização dos nutrientes minerais, redução nos custos de produção, aumento da produtividade das culturas, redução dos impactos ambientais e melhor gestão dos recursos naturais.

## 2.2. Formas do Fósforo no Solo

O P pode ser encontrado no solo na forma inorgânica ou orgânica, com maior ou menor labilidade. A acessibilidade das raízes ao nutriente é influenciada pelas características do solo, fatores ambientais, manejo adotado e tipo de planta.

O P inorgânico é dividido em: íons fosfato presente na solução do solo, P estrutural presente nos minerais fosfatados e os fosfatos precipitados com compostos inorgânicos ou adsorvidos a ele (Barber, 1995). Como a concentração dos íons fosfato no solo é baixa, predominam as formas de ácido ortofosfórico ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) e fosfato monoácido ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). A predominância do caráter de adsorção dos íons fosfato é dependente do pH do meio: se mais ácido, há maior quantidade de P adsorvido aos minerais de Fe e Al, em pH acima de 5,0, predomina as formas associadas ao Ca; a variação do pH pode contribuir para reversibilidade destes compostos (Fixen & Ludwick, 1982). O P inorgânico pode estar tanto ligado aos íons de Fe, Al e Ca, como adsorvido à superfície de argilas silicatadas ou a oxihidróxidos de Fe e Al (Parfitt, 1978).

As formas orgânicas constituem o P da biomassa microbiana, P presente na estrutura dos compostos orgânicos, P adsorvidos aos resíduos orgânicos ou a matéria orgânica do solo (MOS), como ésteres do ácido fosfórico, fosfonatos e anidridos de ácido fosfórico. O P orgânico pode representar de 20 a 80% do P total do solo (Dalal, 1977). A maior parte do P orgânico está presente na matéria orgânica, o que torna o estudo ainda mais difícil devido à complexidade da dinâmica da MOS. Em solos com alta reposição de resíduos, quando há aplicação de fosfatos solúveis, a biomassa microbiana é de extrema importância visto que ela pode absorver e imobilizar o P inorgânico da solução do solo, e mais tarde, este P poderá ser liberado gradativamente às plantas à medida que a população microbiana é ajustada pelos fatores de disponibilidade de energia e P no sistema. Esta ação da biota do solo retarda o

processo de diminuição da labilidade do P disponível (Martinazzo et al., 2007; Gatiboni et al., 2008). Já em solos onde a disponibilidade de P é baixa associada a uma pequena quantidade de resíduo orgânico adicionado ao solo, pouca importância é dada à biomassa microbiana, por reter baixos teores de P neste compartimento (Gatiboni et al., 2008).

Segundo Walker & Syers (1976), os compartimentos do P no solo são governados pela pedogênese, onde à medida que avança no tempo de desenvolvimento do solo, com a ação do intemperismo, o P é disponibilizado para a solução do solo a partir da degradação dos minerais fosfatados. Com este aumento de P lábil, o P pode ser absorvido pelas plantas e biomassa microbiana ou ser adsorvido aos argilominerais; porém este último ocorre em menor intensidade uma vez que neste estágio inicial de desenvolvimento do solo há poucos sítios de adsorção de alta energia. Com o aumento do consumo de P pelos seres vivos, tem-se maior deposição de resíduos orgânicos, o que favorecerá o acúmulo de P orgânico. Concomitantemente, a ação do intemperismo favorece a formação de sítios de adsorção do P de menor reversibilidade nos minerais do solo. Então a fração mineral do solo sai da condição de fonte dando lugar a uma característica de dreno de P (Walker & Syers, 1976).

Na maioria dos solos do bioma do Cerrado, por apresentarem elevado grau de intemperismo, ocorre uma predominância de óxidos de Fe e Al na fração argila do solo que possuem sítios ávidos para a adsorção de fosfato, comportando-se como um dreno deste nutriente. Alguns estudos evidenciam que solos intemperizados e sem adição de P via fertilizantes, a mineralização da MOS atua como agente tamponante do P no solo (Novais & Smyth, 1999), destacando as práticas de manejo que preservam ou acumulam matéria orgânica nos solos do Cerrado.

### **2.3. Fertilizantes Organominerais**

O P pode ser adicionado ao solo por fertilizantes minerais ou por resíduos orgânicos. As reservas de rochas fosfatadas são finitas e poucas apresentam elevada qualidade, com alto conteúdo de P e baixas impurezas (Vaccari, 2009).

O aumento das produtividades nas culturas de grãos obtidos com o advento da tecnologia no campo tem aumentado a demanda por nutrientes que, associado à necessidade de produção de alimentos e problemas ambientais ocasionados pela produção desses, tem levado ao desenvolvimento acentuado de pesquisas no setor agrícola (Chiconato et al., 2013). Neste sentido, novas tecnologias para a produção de fertilizantes fosfatados devem ser desenvolvidas para suprir a demanda nacional de P e diminuir a dependência de importações deste nutriente.

Os subprodutos da produção animal constituem uma importante fonte de nutrientes às plantas, apresentam baixo custo, diversidade de materiais e boa distribuição geográfica no país (Benites et al., 2010). A utilização de resíduos orgânicos como a cama de frango é uma alternativa viável. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne de frango, com abate anual de aproximadamente 5,7 bilhões de aves (IBGE, 2016), que geraram uma produção de cama de frango estimada 16 milhões de toneladas (Schneider et al., 2012).

Com a perspectiva de crescimento da produção de carne de frango, aumenta a responsabilidade do gerenciamento deste subproduto de forma a preservar a qualidade ambiental. Diante deste desafio, a produção de FOM, em razão dos promissores resultados agrônômicos, tem crescido nos últimos anos (Morais & Gatiboni, 2015).

O FOM é obtido a partir da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. De acordo com a Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005, e Capítulo III da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, seção V, artigo 8º, § 1º, onde estão

estabelecidas as características e garantias dos fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo, onde devem apresentar, no mínimo: 8% de C orgânico; 80 mmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de CTC, 10 % de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK), 5 % de macronutrientes secundários, e umidade máxima de 30 %.

A aplicação de FOM ao solo é comumente realizada como formulação organomineral ou pela mistura de uma fonte orgânica e um fertilizante mineral (Tejada et al., 2005). Os FOM permitem menor uso de fertilizantes minerais e reduz o impacto ambiental das atividades agrícolas. Quando comparado às fontes minerais ou compostos orgânicos, o FOM aumenta a disponibilidade para a planta através da redução da adsorção na fração coloidal do solo (Parent, Khiari & Pellerin, 2003), diminui a transformação dos fosfatos em formas indisponíveis (Iyamuremye & Dick, 1996) e permite melhor desenvolvimento das raízes das plantas na fase inicial do desenvolvimento (Lee & Bartlett, 1976).

A mineralização da matéria orgânica contida nos FOM forma ácidos orgânicos que podem competir com os sítios de adsorção de P no solo (Pypers et al., 2005). Ácidos orgânicos de baixo peso molecular aumentam a biodisponibilidade de P devido a mobilização de nutrientes, principalmente P insolúvel (Strom et al., 2002), auxiliam também na dissolução de compostos de P insolúveis, ligados a Ca, Fe e Al (Jones et al, 2003.).

Os FOM apresentam potencial químico reativo relativamente inferior, no entanto, a solubilização gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura pode lhe garantir maior eficiência agrônômica quando comparado às fontes minerais solúveis (Kiehl, 2013).

Uma das principais indagações da adoção dos FOM está relacionada com a sua eficiência agrônômica, seu efeito no solo e seu custo frente às fontes minerais comumente utilizadas (Wietholter et al., 1994). Portanto, a avaliação agrônômica de novos fertilizantes organominerais se faz necessária para que as recomendações quanto a doses, forma de aplicação, uso em culturas e diferentes condições edafoclimáticas, sejam aprimoradas.

#### **2.4. Manejo da Adubação Fosfatada**

Os solos da região do Cerrado apresentam baixos teores de P disponível (Lopes, 1983), portanto, adubações fosfatadas são imprescindíveis para a obtenção da máxima produtividade econômica das culturas. Diversas formas de aplicação dos fertilizantes fosfatados têm sido avaliadas com o intuito de aprimorar a eficiência das fertilizações.

A escolha do método de fertilização deve considerar os aspectos operacionais, agrônômicos e econômicos. A velocidade e capacidade de reação do fertilizante no solo está em função da sua forma de aplicação, que irá determinar a disponibilidade de nutrientes às plantas (Ceretta & Fries, 1997), com consequente interferência sobre a eficiência dos fertilizantes fosfatados (Brevilieri, 2012; Caione et al., 2011). Desta forma, a adubação fosfatada exige cuidados em decorrência da baixa mobilidade do nutriente no solo.

Os métodos de adubação fosfatada mais difundidos na agricultura brasileira são a lanço na superfície, com ou sem incorporação e no sulco de semeadura, em covas e em faixas (Sousa et al. 2004). Na adubação a lanço, praticamente, todo o adubo entra em contato com o solo, que pode favorecer as reações de adsorção com os colóides do solo, diminuindo a sua biodisponibilidade.

O emprego da adubação fosfatada a lanço, sem incorporação, é crescente nas regiões produtoras de grãos. Esta técnica permite maior rendimento operacional, uma vez que a atividade não precisa ser interrompida para reabastecimento dos reservatórios dos fertilizantes na plantadora, apresentando maior agilidade se comparado ao sistema onde o fertilizante é enterrado no sulco de semeadura.

A grande difusão do plantio direto e o emprego da adubação a lanço merece atenção quanto à distribuição do P no perfil do solo devido à sua baixa mobilidade e às possíveis perdas por erosão ou pelas reações de precipitação com Fe, Al e Mn, sobretudo, em solos com elevada acidez (Kurihara & Hernani, 2011). Ressalta-se ainda que com a aplicação do calcário em superfície no plantio direto há contato direto com o fertilizante fosfatado aplicado a lanço, que poderá levar à formação de fosfato de cálcio, portanto, menor biodisponibilidade do P às plantas.

Na adubação localizada há uma menor superfície de contato do fertilizante com o solo, o que reduz temporariamente sua sorção no solo, porém, o contato do sistema radicular com o P proveniente do adubo é reduzido (Malavolta, 1981). Quando foi empregada a adubação em sulcos para o cultivo do milho, resultou em menor produção de matéria seca e concentração de P na parte aérea (Anghinoni & Barber, 1980; Novais et al., 1985). Nas raízes sem contato com este elemento houve estresse nutricional quando parte do sistema radicular foi adequadamente suprido com P (Anghinoni & Barber, 1980). O P se acumulou de maneira desuniforme em folhas de milho devido à disponibilidade limitada na adubação enterrada no sulco do plantio (Novais et al., 1985), o que indica haver limitação na redistribuição interna de P na planta (Alves et al., 1999).

A aplicação a lanço de fertilizantes fosfatados tem sido recomendada para doses superiores a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Sousa e Lobato, 2004). No caso de pequenas doses de P, a adubação localizada é mais indicada para um melhor uso do P aplicado (Anghinoni & Barber, 1980). Adubações a lanço são viáveis quando os teores de P assimilável encontram-se acima dos níveis críticos (Amoacy, 2006), sendo sugerida como adubação de manutenção (Sá, 2004), onde a probabilidade de respostas das culturas é muito baixa e não tem sido observada perda em produtividade (Pavinatto & Ceretta, 2004).

Em solos com baixos níveis de P, a adubação localizada tem apresentado melhor resposta das culturas. Em avaliação de diferentes formas de aplicação do P, a viabilidade da aplicação a lanço foi observada apenas em solos com fertilidade corrigida, no entanto, em solos com baixas concentrações de P, a adubação localizada mostrou-se mais viável (Broch & Chueiri, 2006).

Em solos de textura média e arenosa, pequenas doses de P são suficientes para elevar os conteúdos disponíveis, desta forma, o manejo da fertilização fosfatada deve ser diferenciado. Em solos que apresentam menor fator capacidade, com teores médios ou altos de P assimilável, a forma de aplicação do fertilizante parece não ser um fator limitante à produção das culturas (Santos et al., 2012). Desta forma, a escolha da forma da adubação fosfatada pode ser fundamentada na viabilidade técnica ou econômica.

## **2.5. Perdas de Fósforo por Erosão**

O P presente nos fluxos provenientes das enxurradas, juntamente com o N, estão relacionados à aceleração do processo de eutrofização como fontes não pontuais (Bertol et al., 2004). O P pode ser considerado como o elemento chave no processo de eutrofização, já que os teores nos corpos d'água geralmente são limitantes ao desenvolvimento da biota (Hart et al., 2004), diferente do N que pode ser introduzido para o sistema pelas algas verdes e azuis que metabolizam o  $\text{N}_2$  diretamente da atmosfera (Hernani et al., 1999).

A eutrofização de corpos d'água pode ser desencadeada por concentrações de P entre  $0,001$  e  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$  (Barbosa et al., 2009). Concentrações superiores a  $0,02 \text{ mg L}^{-1}$  na enxurrada podem promover ou acelerar estes processos (Yoo et al., 1998). Estes valores são considerados baixos se forem comparados àqueles exibidos em solos agrícolas, mesmo em áreas com agricultura intensiva (Barbosa et al., 2009).

Apesar da fração do P perdido por erosão ser pequena, isto pode resultar em grandes perdas de nutrientes que podem levar a perda da capacidade produtiva do solo (Cassol et al., 2002). As exigências nutricionais para culturas de grãos como o milho e a soja varia entre 25 e 45 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P, no entanto, perdas de 1 a 2 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P podem acelerar o processo de eutrofização em corpos d'água (Hansen et al., 2002).

A erosão hídrica é responsável pelo empobrecimento dos solos por promover a perda de matéria orgânica, nutrientes e sedimentos (Hernani et al., 1999). Estas perdas são influenciadas pelo volume da enxurrada, perdas de sedimentos, concentração de nutrientes na água e sedimentos, tipo de cobertura e manejo adotado no solo (Schick et al., 2000), pelo teor de P no solo, pela fonte e forma de aplicação dos fertilizantes (Sharpley et al., 1994; Sims et al., 1998).

A adubação fosfatada intensiva nas áreas de cultivo pode resultar em concentrações de P acima do limite crítico no escoamento superficial, sobretudo em solos com manejo conservacionistas, onde não há revolvimento do solo, que permite elevados teores do nutriente na camada superficial do solo, conseqüentemente, maiores concentrações nos sedimentos e água da enxurrada (Guadagnin, 2003). Em sistemas conservacionistas as concentrações de nutrientes são superiores àqueles observados em plantios convencionais, principalmente no plantio direto com aplicação a lanço dos fertilizantes (Bertol et al., 2007).

O enriquecimento de P no escoamento superficial pode ser determinado pelas concentrações do nutriente na camada superficial de 2,5 cm, independente da concentração em maiores profundidades (Pote et al., 1999). Estas perdas de P também foram influenciadas por trocas químicas em uma faixa de 1,5 cm (Baker, 1981) ou mesmo em profundidades variando de 1 a 5 cm (Hansen, 2002).

Pesquisas da indústria de fertilizantes apontam que do total de P aplicado no solo, apenas 54% é aproveitado para o desenvolvimento das plantas e o restante, 46%, é perdido para o ambiente (Cunha et al., 2010).

Desta forma, o manejo da adubação fosfatada deve ser avaliado para que as recomendações impliquem em ganhos agronômicos sem prejuízos ambientais, sobretudo em solos suscetíveis à erosão, como os que ocorrem na região oeste da Bahia (Donagemma et al., 2016).

### **3. CAPÍTULO I -**

## **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL FOSFATADO GRANULADO COM CAMA DE FRANGO EM COMPARAÇÃO AO MONOAMÔNIO FOSFATO**

### 3.1. RESUMO

Fertilizantes organominerais podem suprir parte da demanda de nutrientes aos cultivos e garantir melhor gestão dos resíduos agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agronômica e de recuperação de P de fertilizante fosfatado organomineral (FOM) granulado com cama de frango e fosfato monoamônio (MAP), comparado ao MAP em solos com diferentes capacidades de retenção de P, em condições de casa de vegetação. O experimento seguiu um arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 4 + 2$ , com amostras de terra da camada superficial de dois Latossolos (texturas areia franca e franco argilosa), duas fontes de P (FOM e MAP), quatro doses de P aplicado (50, 100, 200 e 400 mg kg<sup>-1</sup> de solo), além de dois controles sem aplicação de P. Os tratamentos foram avaliados em vasos com 10 kg de solo, em quatro cultivos sucessivos de milho, sem reposição do P absorvido pelas plantas, para permitir as avaliações de efeito imediato e residual dos fertilizantes. Os teores de P assimilável no solo foram maiores com o MAP, no solo areia franca, sem diferenças entre fertilizantes no solo franco argiloso. A aplicação do FOM apresentou maior efeito imediato e promoveu maior produção de matéria seca no primeiro cultivo, nos demais cultivos não houve efeito significativo das fontes de P. O acúmulo de P pelas plantas não foi influenciado pelo fertilizante utilizado em ambos os solos. O FOM apresentou maior eficiência agronômica, mas a eficiência de recuperação de P não diferiu significativamente entre os fertilizantes nos dois solos. O desempenho do FOM indica bom potencial de uso da cama de frango como fertilizante, em formulações organominerais para solos com diferentes capacidades de retenção de P.

**Palavras-chave:** Adubação fosfatada. Acúmulo de fitomassa. Eficiência de recuperação.

### 3.2. ABSTRACT

Organomineral fertilizers can supply part of the nutrient demand to crops and ensure better management of agricultural wastes. The objective of this work was to evaluate the agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphorus fertilizer (FOM) with chicken litter and monoammonium phosphate (MAP), compared to MAP in soils with different P retention capacities in greenhouse conditions. The experiment followed a 2x2x4 + 2 factorial arrangement with soil samples from two superficial layer soils (sand and clay loam textures), two P sources (FOM and MAP), four applied P levels (50, 100, 200 and 400 mg kg<sup>-1</sup> of soil), besides two controls without application of P. The treatments were evaluated in pots with 10 kg of soil in four successive crops of corn, without replacement of P absorbed by plants, to allow evaluations of the immediate and residual effect of fertilizers. The levels of soil available P were higher with the MAP, in the sandy loam soil, without differences between fertilizers in the clay loam soil. The application of FOM showed greater immediate effect and promoted higher dry matter production in the first crop, while in the others crops there was no significant effect of the sources of P. The accumulation of P by the plants was not influenced by the fertilizer used in both soils. The FOM presented higher agronomic efficiency, but the P recovery efficiency did not differ between the fertilizers in both soils. The performance of the FOM indicates good potential use of chicken litter as fertilizer in organomineral formulations for soils with different P retention capacities.

**Key words:** Phosphate fertilization. Phytomass accumulation. Recovery efficiency.

### 3.3. INTRODUÇÃO

A deficiência de P em solos tropicais é um dos fatores mais limitantes ao bom desenvolvimento das culturas agrícolas (Santos et al., 2011). Na maioria das situações, a eficiência da adubação fosfatada é muito baixa (Kochian, 2012), em razão de atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos, e de características de solubilidade, composição e estrutura física dos fertilizantes (Hansel et al., 2014).

As rochas fosfáticas utilizadas como matéria prima para a produção dos fertilizantes fosfatados constituem um recurso natural não renovável (Vaccari, 2009). Portanto, novas fontes de P devem ser avaliadas (Cordell et al., 2009) sob os pontos de vista agrônomo, ambiental e econômico, de forma a complementar ou mesmo substituir o uso de fertilizantes convencionais na agricultura.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne de frango, com abate anual aproximado de 5,7 bilhões de aves (IBGE, 2016), e produção estimada de cama de frango de 16 milhões de toneladas (Schneider et al., 2012). Resíduos da produção animal são amplamente utilizados como fertilizantes orgânicos, e seu uso na formulação de fertilizantes organominerais (FOM) têm crescido nos últimos anos (Morais & Gatiboni, 2015). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010) prevê a redução na geração de resíduos, por meio de reciclagem ou reaproveitamento, o que estimula o mercado para os FOM. Além disso, a pluralidade de fontes orgânicas disponíveis e a viabilidade de se agregar valor aos resíduos agrícolas, com a formulação dos FOM, favorecem a diversificação e a descentralização da produção de fertilizantes no país (Benites et al., 2010).

Quando comparados aos fertilizantes minerais solúveis, os FOM são menos reativos no solo, mas podem apresentar maior eficiência agrônoma, já que sua solubilização gradativa permite a liberação de nutrientes no decorrer do desenvolvimento das culturas (Kiehl, 2013). Além disso, o favorecimento da atividade microbológica do solo, em razão da adição de resíduos orgânicos presentes nas formulações de FOM, pode beneficiar o desenvolvimento das plantas (Rodrigues et al., 2011). Um outro aspecto benéfico do uso dos FOM está relacionado ao aumento na biodisponibilidade de P, em razão da competição pelos sítios de adsorção do P pelos ácidos orgânicos oriundos da mineralização da matéria orgânica adicionada ao solo (Fernandes et al., 2015). Este último aspecto, no entanto, ainda precisa ser mais bem estudado, com avaliação de diferentes fontes minerais de P, em solos de diferentes classes texturais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônoma e de recuperação de P, de fertilizante fosfatado organomineral granulado com cama de frango e monoamônio fosfato (MAP), comparativamente ao MAP em solos com diferentes capacidades de retenção de P em casa de vegetação.

### 3.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ. O experimento seguiu um arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 4 + 2$ , em amostras de terra da camada superficial de dois solos (texturas areia franca e franco argilosa), duas fontes de P (FOM e MAP), quatro concentrações de P (50, 100, 200 e 400 mg kg<sup>-1</sup> de solo), além de dois controles sem aplicação de P, um para cada tipo de solo, dispostos em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições.

Cada unidade experimental foi composta por um vaso preenchido com 10 kg de solo. Foram avaliados quatro cultivos sucessivos de milho (*Zea mays*), sem reposição do P absorvido pelas plantas, para exaurir as formas extraíveis do elemento no solo e permitir as avaliações quanto aos efeitos imediato e residual dos fertilizantes testados. Utilizou-se o híbrido BRS 1060, tendo-se mantido quatro plantas por vaso após desbaste.

Foram utilizadas amostras de terra de dois Latossolos Vermelho-Amarelos (Santos et al., 2013), coletadas na camada superficial (0 a 20 cm) com textura areia franca (100 g kg<sup>-1</sup> argila), proveniente do município de Luis Eduardo Magalhães, BA, e outra de textura franco argilosa (380 g kg<sup>-1</sup> argila), do município de Paula Cândido, MG. As propriedades químicas dos solos, determinadas de acordo com Embrapa (1997), são apresentadas na Tabela 1.

Os fertilizantes avaliados foram o MAP puro para análise (56% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), na forma de pó, e um FOM (com teor total de 23% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), formulado em grânulos. O FOM foi produzido a partir da mistura de 60% de cama de frango, 38% de MAP p.a. e 2% de silicato de potássio. A proporção de cada componente do FOM foi desenvolvida por pesquisadores da Embrapa Solos e integra a Rede Fertibrasil. A cama de frango foi obtida de granja comercial, no município de Nova Friburgo, RJ. Foi moída e peneirada em malha de 500 mesh; e o fertilizante mineral e a cama de frango foram homogeneizados em misturador tipo “V” e, então, peneirados (500 mesh) novamente. Para obtenção dos grânulos, a mistura foi acondicionada em disco pelotizador, tendo-se adicionado água, gradativamente, com uso de um borrifador. Foram utilizados grânulos com diâmetro entre 2 e 4 mm. O fertilizante foi seco em estufa com circulação forçada de ar, a 40°C.

**Tabela 1.** Análise química das amostras superficiais dos solos utilizados no experimento de casa de vegetação.

Solo	pH		P mg dm <sup>-3</sup>	K	S	Ca	Mg	Al	H + Al cmolc dm <sup>-3</sup>	S	t	T	V %	Corg* g kg <sup>-1</sup>
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>												
Areia franca	5,0	3,0	1,2	8	5,3	0,1	0,1	0,3	1,65	0,22	0,52	1,87	12	7,25
Franco argilosa	4,9	3,7	1,5	102	3,2	0,6	0,5	0,5	5,28	1,36	1,86	6,64	20	20,88

\*Corg: carbono orgânico.

Os solos foram destorroados e peneirados em malha de 4 mm e tiveram a acidez corrigida com aplicação de calcário dolomítico (PRNT 85%), nas doses de 3,5 e 2,8 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para os solos de textura areia franca e franco argilosa, respectivamente. A incubação do calcário foi realizada separadamente em cada vaso, por 30 dias, tendo-se mantido a umidade em 80% da capacidade de campo. Após a incubação, os fertilizantes

fosfatados foram aplicados, com incorporação em todo o volume de solo, em cada unidade experimental. Os demais nutrientes foram adicionados por meio de solução nutritiva, nas doses de 150 e 50 mg kg<sup>-1</sup> de K (como nitrato de potássio) e 11,2 e 19,9 mg kg<sup>-1</sup> de S (como sulfato de amônio) para os solos de textura areia franca e franco argilosa, respectivamente. A dose N, para ambos os solos, foi de 100 mg kg<sup>-1</sup> solo (46,2 e 82,1 mg kg<sup>-1</sup> de N como sulfato de amônio e 53,8 e 17,9 mg kg<sup>-1</sup> como nitrato de potássio, para os solos de textura areia franca e franco argilosa, respectivamente). Também foram aplicados, na solução, 2 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (CuSO<sub>4</sub>), 1 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (ZnSO<sub>4</sub>), 0,05 mg kg<sup>-1</sup> de B (bórax) e 0,2 mg kg<sup>-1</sup> de Mo (molibdato de sódio), em ambos os solos. As adubações de manutenção com N, K e S foram realizadas antes do segundo e do terceiro cultivo do milho, nas mesmas doses utilizadas no primeiro cultivo.

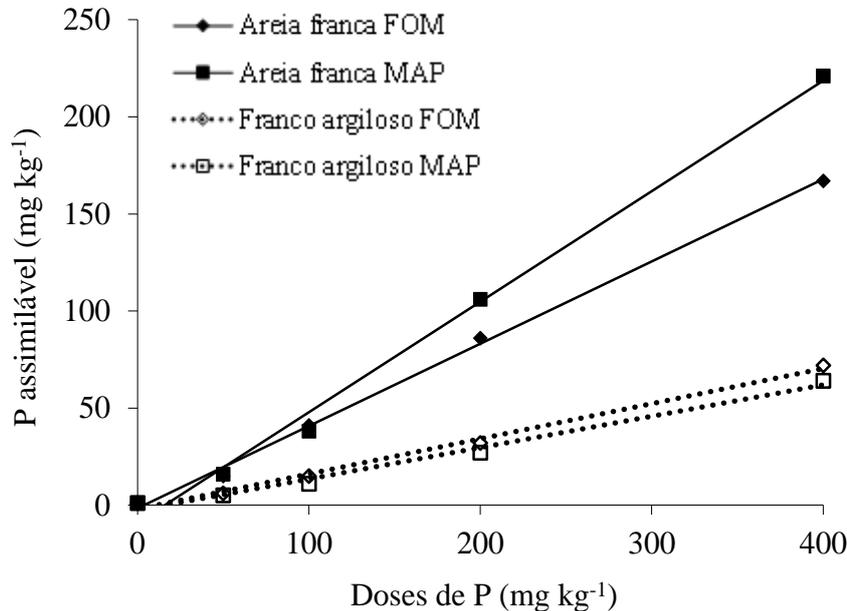
Os quatro cultivos sucessivos de milho foram realizados em junho/agosto de 2014, setembro/outubro de 2014, julho/agosto de 2015 e agosto/outubro de 2015. A coleta das plantas foi efetuada aos 50, 24, 41 e 43 dias após a emergência, no primeiro, segundo, terceiro e quarto cultivos, respectivamente. Nas coletas, as plantas foram cortadas rente ao solo. O solo foi peneirado para separação das raízes, que foram lavadas em água corrente com auxílio de uma peneira. A parte aérea e as raízes foram secas em estufa com circulação forçada do ar a 60°C, até massa constante, pesadas e moídas; tendo-se determinado o teor de P por digestão nitroperclórica e dosagem colorimétrica (Malavolta et al., 1997). O acúmulo de P em cada porção vegetal foi obtido pelo produto entre o teor de P e a massa de matéria seca produzida. Após cada cultivo, foram coletadas amostras de solo, em cada vaso, para determinação do P assimilável, com o extrator Mehlich-1 (Donagemma et al., 2011).

Foram calculadas a eficiência agronômica [(produção de matéria seca na planta em solo com P – produção de matéria seca da planta em solo sem P)/quantidade de P aplicado] e a eficiência de recuperação do fertilizante [(P acumulado na planta em solo com P – P acumulado na planta em solo sem P)/quantidade de P aplicado] conforme Fageria et al. (2003), em cada unidade experimental.

Os dados e os valores acumulados nos quatro cultivos foram submetidos à análise de variância, como um delineamento de blocos ao acaso em arranjo fatorial triplo 2x2x4, entre tipo de solo, fonte de P e dose de P, tendo-se excluído os dados dos vasos com os tratamentos controle sem aplicação de P. A biodisponibilidade do P com o uso das duas fontes foi avaliada, sob diferentes condições de adsorção do P (textura dos solos). Os dados foram ajustados a modelos de regressão linear ou quadrática, tendo-se considerado a dose de P aplicada como variável independente, e incluído os dados obtidos dos vasos sem aplicação de P, como a dose zero. Estimou-se, ainda, a diferença mínima significativa entre tratamentos pelo teste Duncan, a 5% de probabilidade.

### 3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

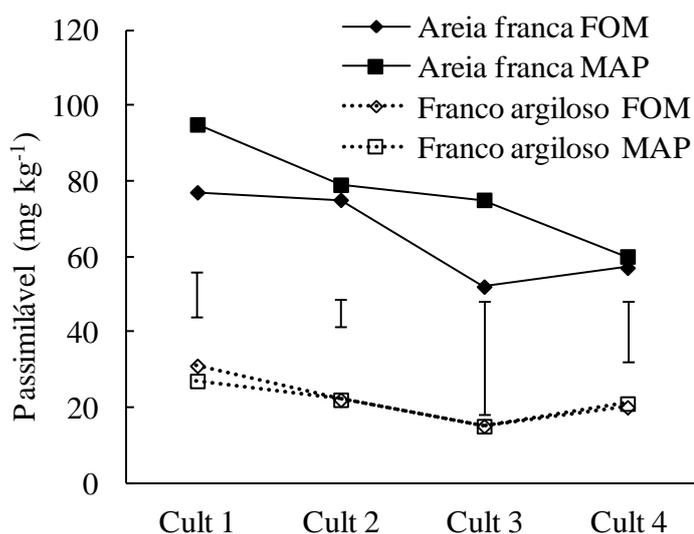
Após o primeiro cultivo, os teores de P disponível no solo foram crescentes em função do aumento da dose de P aplicada em ambos os solos, independente da fonte de P utilizada (Figura 1). Lana et al. (2014) também observaram acréscimos lineares nos teores de P em um solo argiloso adubado com doses crescentes de fertilizante mineral e FOM.



As linhas representam o modelo de primeiro grau ajustado às médias experimentais. Equações dos modelos: areia franca FOM  $-1,525+0,4235x$ ; areia franca MAP  $-8,95+0,569x$ ; franco argiloso organomineral  $-1,95+0,181x$ ; franco argiloso MAP  $-2,625+0,1615x$ . Todos os  $R^2$  dos modelos são superiores a 0,98.

**Figura 1.** Teor de P assimilável no solo após o primeiro cultivo de plantas de milho, nos dois solos, sob cinco doses de P aplicado ao solo na forma de fertilizante organomineral (FOM) ou monoamônio fosfato (MAP).

Houve redução do teor de P assimilável no solo, após cada cultivo, valores superiores foram observados no solo areia franca, para os dois fertilizantes avaliados (Figura 2). No solo franco argiloso, a fonte de P utilizada não afetou o teor de P assimilável, porém, no solo areia franca, o teor de P assimilável foi maior com o uso do MAP. A alta solubilidade do MAP, associada ao menor potencial de adsorção desse solo, resultou nessa maior disponibilidade de P, a partir do primeiro cultivo. No solo franco argiloso, com maior teor de argila e maior poder de adsorção (Chien et al., 2011), esta diferença não foi observada.

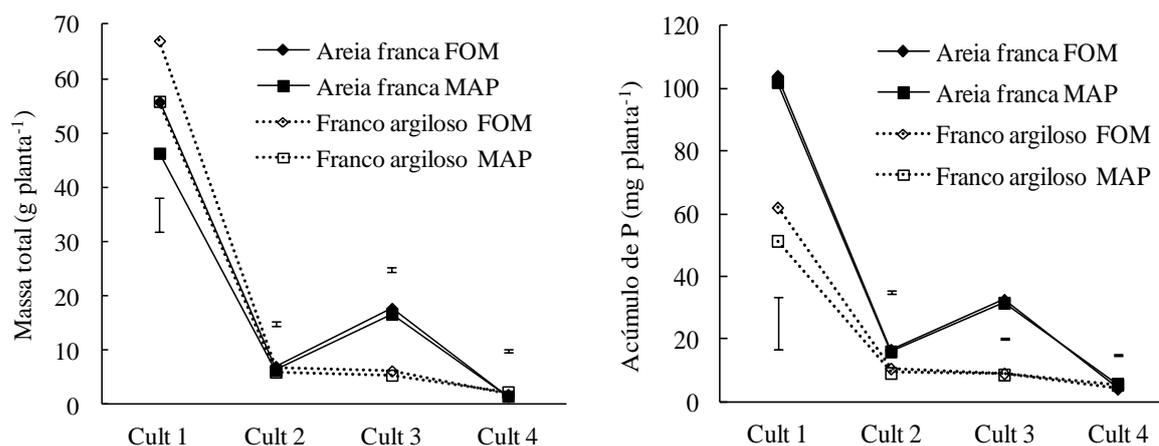


As barras verticais representam a diferença mínima significativa estimada pelo teste de Duncan a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada cultivo.

**Figura 2.** Teor de P assimilável no solo, após cada um dos quatro cultivos sucessivos de plantas de milho em vasos com dois solos com adição de fertilizante organomineral (FOM) ou monoamônio fosfato (MAP). Valores representam a média de quatro doses de P aplicado ao solo, excluindo-se o controle com a dose 0.

Maiores teores de P assimilável foram observados quando plantas de milho foram adubadas com fosfatos solúveis (MAP e fosfato supertríplo granulados, e MAP diluído em água) em comparação a FOM (cama de frango mais fosforita granulada e dejetos de suíno mais MAP na forma fluida), em solos de textura argilosa (Latosolo Vermelho distroférrico) e arenosa (Neossolo Quartzarênico distrófico) (Ferreira, 2014). A autora destacou que a liberação do P é mais rápida nas fontes solúveis, pois a disponibilização da fração orgânica do elemento no solo, com o uso do FOM, demanda que a matéria orgânica seja primeiramente mineralizada. Morais & Gatiboni (2015) não reportaram diferenças significativas entre fontes de P solúveis e FOM à base de cama de frango, quanto ao P assimilável até 2,5 cm de profundidade, em colunas preenchidas com solo de textura argilosa (Nitossolo) e incubadas por 32 dias.

No primeiro cultivo, o FOM proporcionou maior acúmulo de matéria seca nas plantas de milho que o MAP, nos dois solos avaliados (Figura 3). Com o uso do FOM, a adição de P associado à matéria orgânica ao solo pode ter promovido o aumento na biomassa microbiana no solo (Gatiboni et al., 2008) e, conseqüentemente, aumentado a disponibilização de outros nutrientes presentes na cama de frango, o que teria favorecido o acúmulo de matéria seca no primeiro cultivo. Morais & Gatiboni (2015) também relataram aumento da biomassa microbiana em Nitossolo (411 g kg<sup>-1</sup> de argila) adubado com fontes fosfatadas minerais e organominerais a base de cama de frango.



As barras verticais representam a diferença mínima significativa estimada pelo teste de Duncan a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada cultivo.

**Figura 3.** Acumulação de fitomassa e de P na parte aérea e raiz, de plantas de milho em quatro cultivos sucessivos, crescidas em vasos com dois solos com adição de fertilizante organomineral (FOM) ou monoamônio fosfato (MAP). Valores representam a média de quatro doses de P aplicado ao solo, excluindo-se o controle com a dose 0.

No terceiro cultivo, observou-se efeito significativo apenas das classes texturais, com maior produção de matéria seca no solo areia franca (Figura 3). No segundo e no quarto cultivo, os tratamentos não diferiram.

Não houve diferença entre os fertilizantes avaliados quanto ao acúmulo de P nas plantas de milho. Mais uma vez, as diferenças observadas ocorreram apenas entre os solos, com maiores valores no solo de textura areia franca, em todos os cultivos, exceto no quarto, em que não houve diferença significativa (Figura 3). Silva et al. (2012) não observaram diferenças no acúmulo de biomassa de *Urochloa decumbens*, em Latossolo Vermelho distrófico (165 g kg<sup>-1</sup> argila) adubado com adubos orgânicos, organominerais e minerais solúveis, aos 35 dias após a semeadura. Porém, os autores relataram que o acúmulo de P foi superior com o uso do fertilizante mineral solúvel.

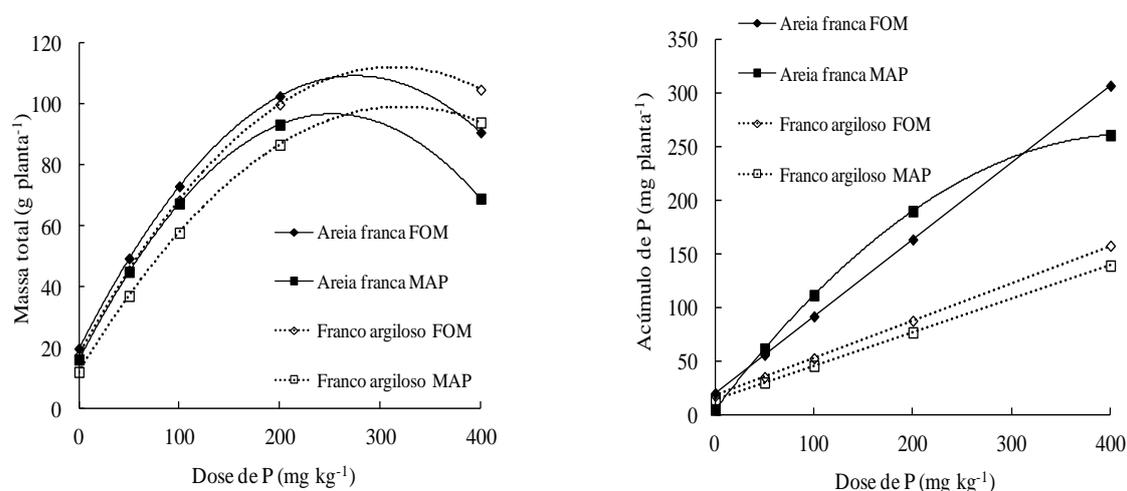
Os valores de produção de matéria seca foram superiores com o FOM apenas no primeiro cultivo, o uso da fonte organomineral não possibilitou maior efeito residual da adubação fosfatada nos cultivos subsequentes (Figura 3). A adição de matéria orgânica ao solo, com o uso de FOM, pode aumentar o efeito residual da adubação fosfatada pela liberação gradativa do nutriente ao solo (Kiehl, 2013), e pela competição dos ácidos orgânicos liberados com os íons fosfato pelos sítios de adsorção nos colóides minerais do solo (Fernandes et al., 2015), no entanto, esta hipótese não foi confirmada neste trabalho. É possível que a quantidade de resíduo orgânico adicionada pelo FOM tenha sido muito pequena para promover acréscimos no conteúdo de matéria orgânica do solo e resultar em maior efeito residual da adubação (Morais & Gatiboni, 2015).

A redução no acúmulo de matéria seca e de P pelas plantas de milho, ao longo dos cultivos (Figura 3), pode ser atribuída à redução dos teores de P assimilável promovida pela extração dos sucessivos cultivos.

O acúmulo de matéria seca, nos quatro cultivos, respondeu às doses de P aplicadas conforme um modelo quadrático, em ambos os solos e fontes avaliados (Figura 4). As doses de P para máximo acúmulo de matéria seca foram estimadas em 275 e 252 mg kg<sup>-1</sup>, para o

FOM e MAP, respectivamente, no solo areia franca; e 313 e 322 mg kg<sup>-1</sup>, no solo franco argiloso. Assim, as plantas responderam a doses maiores de P no solo franco argiloso, enquanto, no solo areia franca o acúmulo de matéria seca pelas plantas chegou a diminuir nas maiores doses de P. As doses para máximo acúmulo de matéria seca foram de 109 e 97 g por planta, respectivamente para as adubações com o FOM e MAP, no solo areia franca; e de 112 e 99 g por planta, no solo franco argiloso.

O acúmulo de P pelas plantas de milho respondeu linearmente às doses utilizadas, exceto no solo areia franca adubado com MAP, no qual a resposta foi quadrática (Figura 4). Os maiores acúmulos de P ocorreram no solo areia franca, em razão da forte associação dessa variável com o teor de P assimilável no solo (Rosolem et al., 1994), o qual foi maior nesse solo (Figuras 1 e 2), em razão de sua menor capacidade de adsorção de P. Já o acúmulo de matéria seca depende de outros fatores, como o suprimento dos demais nutrientes, temperatura e disponibilidade hídrica (Scivittaro et al., 1997), para as condições experimentais, uma vez que a casa de vegetação utilizada não apresentava controle automatizado de temperatura e irrigação.



Equações dos modelos para fitomassa: areia franca FOM  $19,78151+0,65155x-0,00119x^2$ ; areia franca MAP  $16,19028+0,63945x-0,00127x^2$ ; franco argiloso FOM  $17,63074+0,60532x-0,00097x^2$ ; franco argiloso MAP  $12,10428+0,5415x-0,00084x^2$ . Equações dos modelos para acúmulo de P: areia franca FOM  $19,9615+0,71679x$ ; areia franca MAP  $4,67046+1,2106x-0,00143x^2$ ; franco argiloso FOM  $17,6235+0,34971x$ ; franco argiloso MAP  $14,4605+0,31133x$ . Todos os R<sup>2</sup> dos modelos são superiores a 0,85 para fitomassa e a 0,93 para conteúdo de P.

**Figura 4.** Fitomassa e acúmulo de P na parte aérea e raiz, acumulado em quatro cultivos sucessivos de plantas de milho, crescidas em vasos com dois solos, sob cinco doses de P aplicado ao solo na forma de fertilizante organomineral (FOM) ou monoamônio fosfato (MAP). As curvas representam os modelos de primeiro ou de segundo grau ajustados às médias experimentais.

Em razão da maior produção de matéria seca e do menor acúmulo de P pelas plantas de milho adubadas com o FOM, a eficiência agrônômica dessa fonte foi consideravelmente superior que a do MAP, na média das doses avaliadas, independentemente da textura do solo. O índice da eficiência agrônômica apresentou valores de 0,62 e 0,56 para o FOM e 0,54 e 0,43 para o MAP, para o solo de textura areia franca e franco argiloso, respectivamente (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados por Bhattacharyya et al. (2008), ao compararem a mistura de fertilizantes minerais com orgânicos ao fertilizante mineral solúvel.

Em razão das diferentes formulações dos fertilizantes – FOM granulado ou MAP em pó – esperavam-se diferenças na eficiência de recuperação do P, já que essas formulações apresentam diferentes superfícies de contato, o que poderia influenciar na biodisponibilidade do nutriente para as plantas (Hansel et al., 2014). Entretanto, a eficiência de recuperação dos fertilizantes avaliados não diferiu significativamente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Eficiência agrônômica e de recuperação de P do fertilizante organomineral (FOM) ou do monoamônio fosfato (MAP), de plantas de milho crescidas em vasos com dois solos sob quatro doses de P aplicado ao solo.

Dose de P (mg kg <sup>-1</sup> )	Areia franca		Franco argiloso		Areia franca		Franco argiloso	
	FOM	MAP	FOM	MAP	FOM	MAP	FOM	MAP
	Eficiência agrônômica (g mg <sup>-1</sup> )				Eficiência de recuperação (g g <sup>-1</sup> )			
50	1,14 a	0,99 a	0,94 b	0,65 c	1,15 a	1,06 a	0,70 b	0,61 b
100	0,74 a	0,63 ab	0,65 a	0,51 b	1,09 a	1,28 a	0,47 b	0,38 b
200	0,41	0,39	0,41	0,37	0,80 a	0,92 a	0,40 b	0,32 b
400	0,21	0,15	0,24	0,21	0,74 a	0,63 a	0,36 b	0,32 b
Média	0,62 a	0,54 b	0,56 ab	0,43 c	0,94 a	0,97 a	0,48 b	0,41 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

A maior produção de matéria seca pelas plantas de milho, no primeiro cultivo, e a ausência de diferença significativa para essa variável nos demais cultivos, indicam que o FOM é uma fonte promissora para suprimento de P para os cultivos agrícolas. A possibilidade de granular a cama de frango com o fertilizante mineral solúvel permite a substituição de parte deste em plantios de grande escala, principalmente em regiões circunvizinhas às granjas avícolas. Essa possibilidade permite a diversificação e a descentralização da produção de fertilizantes no país (Benites et al., 2010), o que pode otimizar a utilização dos insumos na exploração agrícola. Além disso, o uso de resíduos agroindustriais na produção dos FOM pode minimizar os impactos ambientais negativos ocasionados pelo descarte inadequado desses resíduos, bem como reduzir o uso de fertilizantes minerais na agricultura, e constituir, assim, uma alternativa mais sustentável para o manejo da fertilidade dos solos (Liu et al., 2009).

### **3.6. CONCLUSÕES**

O fertilizante organomineral (FOM) granulado, produzido com cama de frango, tem maior efeito imediato de fertilização que a fonte solúvel (MAP), com maior acúmulo de matéria seca pelas plantas de milho, no primeiro cultivo independente da capacidade de retenção de P dos solos.

Nas doses utilizadas, as fontes não diferem em seus efeitos residuais, com acúmulo de matéria seca pelas plantas similar nos demais cultivos em ambos tipos de solo..

As fontes apresentam a mesma eficiência de recuperação de P, o que, combinado com a maior produção de matéria seca obtida com o FOM, resulta na maior eficiência agronômica dessa fonte, comparada ao MAP.

#### **4. CAPÍTULO II –**

### **AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E PERDAS DE FÓSFORO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL FORMULADO COM CAMA DE FRANGO, SOB DIFERENTES FORMAS DE APLICAÇÃO NO OESTE DA BAHIA**

#### 4.1. RESUMO

A forma de aplicação dos fertilizantes fosfatados pode interferir no rendimento das culturas e nas perdas de P por escoamento superficial. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico e as perdas de P por erosão de um fertilizante organomineral (FOM) produzido a partir de cama de frango, em relação ao uso de fertilizantes fosfatados solúveis, sob as formas de adubação no sulco de semeadura e a lanço. O experimento foi conduzido no município de Luis Eduardo Magalhães, BA, em um Latossolo Amarelo de textura franco arenosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial  $3 \times 3 \times 2 + 2 + 1$  com 4 repetições, combinando os fertilizantes fosfatados FOM, monoamônio fosfato (MAP) e o superfosfato simples (SSP), aplicados em três doses (40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), com adubação a lanço ou enterrada no sulco de semeadura, além de dois controles sem P e um tratamento adicional com cama de frango (aplicação a lanço de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O ensaio foi realizado em dois anos agrícolas, com cultivo de milho no primeiro ano (de dezembro de 2014 a maio de 2015), sucedido pela soja no segundo ano (entre dezembro de 2015 e abril de 2016), aplicando-se a adubação em cada semeadura. Foram avaliados os acúmulos de fitomassa e P na parte aérea, produção de grãos, acúmulo de P nos grãos e teores de P assimilável no solo. Em três parcelas experimentais de cada tratamento, folhas de aço galvanizado foram cravadas no solo para delimitar uma área de captação de 3 m<sup>2</sup> e permitir a avaliação das perdas de solo e de P por erosão superficial. A adubação localizada promoveu maior produção de grãos, acúmulo de fitomassa e P na parte aérea no cultivo do milho, em comparação à aplicação a lanço para todas as fontes. O aumento da dose de P no FOM e MAP aplicados a lanço ocasionou maior acúmulo de P nos grãos de milho. No cultivo da soja não houve efeito significativo de fontes, doses e formas de aplicação sobre a produtividade de grãos, acúmulos de P e N nos grãos e acúmulo de fitomassa. A aplicação de FOM e MAP proporcionou maior acúmulo de P e N da fitomassa da soja em relação ao SSP. A cama de frango apresentou comportamento semelhante ao FOM e fertilizantes minerais nos cultivos do milho e da soja. A adubação a lanço promoveu maiores teores de P assimilável no solo após o cultivo do milho, enquanto após o cultivo da soja, a adubação localizada conferiu maiores teores. A adubação a lanço promoveu maiores perdas de P por erosão. O desempenho do FOM indica bom potencial de uso da cama de frango como fertilizante, em formulações organominerais.

**Palavras-chave:** Adubação localizada. Adubação a lanço. Escoamento superficial.

## 4.2. ABSTRACT

The application of phosphate fertilizers may interfere with crop yield and P losses due to runoff. The objective of this work was to evaluate the agronomic performance and losses of P by erosion of an organomineral fertilizer (OMF) produced from chicken litter, in relation to the use of soluble phosphate fertilizers, under the fertilization forms in the sowing furrow and surface-broadcasted. The experiment was conducted in the municipality of Luis Eduardo Magalhães, State of Bahia, in a Yellow Latosol with sandy loam texture. The experimental design was a randomized block design in a 3x3x2+2+1 factorial arrangement with 4 replicates, combining FOM, monoammonium phosphate (MAP) and single superphosphate (SSP) fertilizers, applied at three levels (40, 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), with surface-broadcasted fertilization or localized fertilization in the furrow, in addition to two controls without P and an additional treatment with chicken litter (80 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> applied to the haul). The experiment was carried out in two agricultural years, with corn crop in the first year (from December 2014 to May 2015), followed by soybean in the second year (between December 2015 and April 2016), applying fertilization at each sowing. The accumulation of phytomass and P in shoots, grain production, accumulation of P in grains and soil available P were evaluated. In three experimental plots of each treatment, galvanized steel sheets were embedded in the soil to delimit an area of 3 m<sup>2</sup> for evaluating soil and P losses due to surface erosion. Localized fertilization promoted higher grain yield, accumulation of phytomass and P in corn shoot, compared to the application of other sources. The increased P level in the OMF and MAP applied to the haul caused a greater accumulation of P in corn grains. In soybean cultivation there was no effect of sources, levels and forms of application on grain yield, P and N accumulations in the grains and phytomass accumulation. The application of OMF and MAP provided greater accumulation of P and N in soybean phytomass compared to SSP. The chicken litter presented similar behavior to the OMF and mineral fertilizers in corn and soybean crops. Surface-broadcasted fertilization promoted higher levels of soil available P after corn cultivation, while after soybean cultivation, localized fertilization conferred higher levels. The surface-broadcasted promoted higher P losses due to erosion. The performance of the FOM indicates good potential of using the chicken litter as fertilizer in organomineral formulations.

**Key words:** Localized fertilization. Surface-broadcasted fertilization. Runoff.

### 4.3. INTRODUÇÃO

Devido à baixa mobilidade dos íons fosfato no solo, o modo de aplicação do fertilizante pode alterar a capacidade e velocidade de reação no solo, interferindo na eficiência dos fertilizantes fosfatados (Caione et al., 2011). O manejo da adubação fosfatada define a dinâmica do nutriente no solo, que por sua vez pode modificar a eficiência no uso do P pelas plantas. A disponibilidade de P no solo é determinada pela fonte, época e forma de aplicação do fertilizante (Martins et al., 2014; Silva et al., 2014). O critério de escolha das diferentes formas de aplicação dos fertilizantes fosfatados deve considerar a viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Na região oeste da Bahia, o relevo plano a suave ondulado favorece o uso da adubação a lanço dos fertilizantes fosfatados, sem incorporação ao solo. Neste sistema, a adubação pode ser empregada antes ou após o plantio, proporcionando maior rapidez na implantação dos cultivos devido ao menor reabastecimento da semeadora, além de menor custo operacional devido à economia no uso de combustível, já que o enterrio dos fertilizantes requer maior tração do trator para que a haste possa abrir a camada superficial do solo.

A maior agilidade na etapa de plantio das culturas de grãos permite melhor aproveitamento da estreita janela de plantio, fator determinante para os cultivos de sequeiro em solos caracterizados pelo baixo potencial de retenção de água em função dos baixos conteúdos de argila (Donagemma et al., 2016). Entretanto, a adubação a lanço permite que os fertilizantes tenham maior exposição do P aos processos erosivos, passíveis de serem transportados por escoamento superficial aos corpos hídricos e provocarem impactos ambientais, sobretudo quando há aplicação de doses elevadas de P.

A adubação localizada é caracterizada por apresentar maior eficiência no aproveitamento do nutriente através da redução da superfície de exposição aos sítios de adsorção, no entanto, apenas uma pequena porção do sistema radicular entra em contato com o fertilizante (Malavolta, 1981).

A maioria dos solos da região oeste da Bahia apresenta textura média ou mesmo arenosa (Freitas et al., 2014) que favorecem uma menor adsorção de P em relação aos solos mais argilosos (Novais et al., 2007). Estes solos, quando apresentam a fertilidade e acidez corrigida, permitem o uso da adubação fosfatada a lanço, sem perdas em produtividade (Santos et al., 2012). Isso se opõe às práticas de adubação fosfatada comumente recomendadas para a maioria dos solos tropicais que, por apresentar elevados conteúdos de óxidos de Fe e Al na fração argila, conferem a eles alta capacidade de fixação de P (Raij, 1991), sobretudo nos solos com teores de argila mais elevados.

Na agricultura brasileira predomina o uso de fertilizantes fosfatados obtidos da acidulação de rochas fosfáticas. A limitação das reservas minerais de apatitas e a dependência de importação deste insumo têm despertado o interesse de explorar novas fontes de P. Uma possibilidade de diversificação das fontes fosfatadas para a agricultura é o uso de resíduos da produção animal, que contêm teores apreciáveis de P e podem ser utilizados na produção de fertilizantes organominerais (FOM). Contudo, a viabilidade econômica do uso do fertilizante organomineral deve ser verificada.

Quando comparados aos fertilizantes minerais solúveis, os FOM podem apresentar maior eficiência agrônômica, já que sua solubilização gradativa permite a liberação de nutrientes no decorrer do desenvolvimento das culturas (Kiehl, 2013). A formulação de FOM pode apresentar melhor gestão aos resíduos agrícolas, diversificar e descentralizar a produção

de fertilizantes no país. Neste sentido, os FOM podem complementar, ou mesmo substituir, o uso de fertilizantes fosfatados minerais nos cultivos.

Este trabalho objetivou avaliar o desempenho agronômico e as perdas de P por erosão do FOM em comparação ao uso de fertilizantes fosfatados solúveis, aplicados a lanço e no sulco de semeadura, em cultivo de milho e soja no oeste da Bahia.

## 4.4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Descrição da Área Experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Colorado, no município de Luis Eduardo Magalhães, BA, localizado entre as coordenadas 12°05'13,5" S e 46°02'47,4" W e altitude de 720 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (Anexo 1) (Santos et al., 2013), com textura franco arenosa até 40 cm de profundidade, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Granulometria ( $\text{g kg}^{-1}$ ) do solo da área experimental em Luis Eduardo Magalhães, BA.

Profundidade cm	Areia	Silte $\text{g kg}^{-1}$	Argila
0-10	816	24	160
10-20	799	21	180
20-40	771	22	207

Previamente à instalação do experimento, amostras compostas de solo foram coletadas com trado holandês nas profundidades de 0 a 40 cm, e submetidas às análises de fertilidade do solo (Donagemma et al., 2011) na área experimental e em área de preservação adjacente com vegetação nativa do Cerrado *stricto sensu* (Tabela 4).

Na área experimental, anualmente, é realizado o cultivo de grãos, havendo a sucessão de milho e soja, que nem sempre ocorre na mesma frequência. O sistema de manejo do solo adotado é o plantio de direto sem o cultivo de plantas de cobertura no inverno.

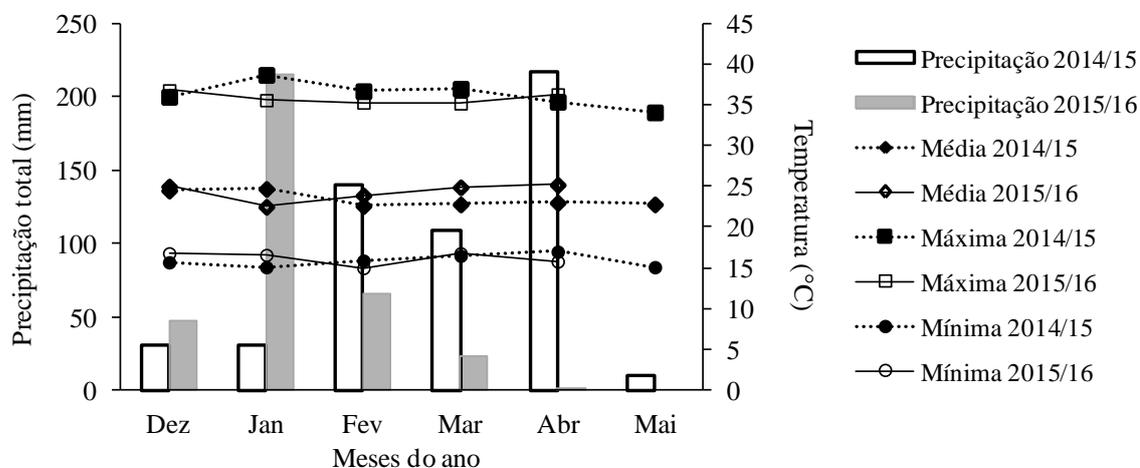
**Tabela 4.** Características químicas do solo da área experimental anterior à instalação do experimento, 2014. Luis Eduardo Magalhães, BA.

Prof. Cm	pH $\text{H}_2\text{O}$	Al	Ca	Mg	H + Al $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	S	T	P	Na	K	V
									$\text{mg dm}^{-3}$		%
Área de preservação sob vegetação de cerrado											
0-20	5,3	0,3	0,0	0,6	3,1	0,7	3,8	2,7	2,0	27,0	18,0
20-40	4,7	0,7	0,0	0,2	4,5	0,3	4,7	1,7	2,0	16,0	5,0
Área experimental											
0-10	6,3	0,0	2,3	0,8	1,8	3,2	5,0	16,8	2,0	37,7	64,7
10-20	5,9	0,0	1,3	0,5	2,6	1,9	4,4	26,9	0,7	29,7	41,3
20-40	5,6	0,1	0,3	0,6	2,5	1,0	3,5	6,9	0,0	36,3	27,0

T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0.

O clima da região é classificado como tropical quente e seco com chuvas de inverno, tipo BSh pela classificação climática de Köppen (Castro et al., 2010). Foi instalada uma estação meteorológica automática na área experimental, com registros diários da precipitação pluviométrica e temperatura atmosférica. Foram registradas temperaturas médias de 23,6 °C e de 24,3 °C no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente. Foram observadas

variações no regime de chuvas durante o experimento. No primeiro ano, as maiores concentrações de chuvas ocorreram de fevereiro a abril, já no segundo ano, as maiores lâminas acumuladas ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 5). As precipitações totais acumuladas durante o período experimental foram de 536,8 mm em 2014/15 e 351,6 mm em 2015/16.



**Figura 5.** Precipitação pluviométrica, temperaturas médias, máximas e mínimas ocorridas durante os cultivos de milho (safra 2014/15) e soja (safra 2015/16).

#### 4.4.2 Descrição e Caracterização do Experimento

O experimento foi realizado em dois anos agrícolas. No primeiro ano efetuou-se o cultivo de milho (*Zea mays*), no período de 26 de dezembro de 2014 a 20 de maio de 2015. O segundo cultivo transcorreu entre 21 de dezembro de 2015 e 14 de abril de 2016, sendo utilizada a soja (*Glycine max*). Ambos os cultivos foram realizados em condições de sequeiro.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em um arranjo fatorial  $3 \times 3 \times 2 + 2 + 1$ , onde os fatores foram os três fertilizantes fosfatados, cada um aplicado em três doses, com duas formas de aplicação do fertilizante, além de dois controles e um tratamento adicional com cama de frango. O experimento foi constituído de 21 tratamentos dispostos em 4 repetições, somando 84 parcelas. Cada unidade experimental foi composta de 8 linhas com 7 m de comprimento, com espaçamento de 0,5 m entre as linhas de semeadura (área total de 28 m<sup>2</sup> de cada parcela).

As três fontes de P avaliadas foram o monoamônio fosfato (MAP) (50 – 55% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), super fosfato simples (SSP) (16 – 18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e organomineral (60% cama de frango e 38% MAP) (29% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As doses testadas foram de 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Foram avaliadas as formas de adubação fosfatada enterrada no sulco de semeadura e aplicada a lança em toda a área sem incorporação do fertilizante.

Como a adubação com potássio foi realizada em conjunto com a adubação fosfatada, foram conduzidos dois tratamentos controle, sendo um com o fertilizante potássico enterrado no sulco de semeadura e outro aplicado a lança, que corresponderam à dose zero de P para as duas formas de aplicação do fertilizante. Além disso, foi incluído um tratamento extra apenas com cama de frango, aplicada a lança na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A aplicação dos fertilizantes fosfatados foi realizada na semeadura do milho e da soja.

Para a produção do fertilizante organomineral, foi utilizada uma proporção de 60% de cama de frango, 38% de MAP e 2% de silicato de potássio. Este aditivo foi utilizado para conferir dureza aos grânulos produzidos. Todo o material foi peneirado em malha de 500

mesh e homogeneizado em um misturador tipo “V”. Em seguida, a mistura foi tamisada em peneira com abertura de 500 mesh e levada ao disco pelotizador para a formação dos grânulos. O material foi umedecido com água gradativamente no disco pelotizador por meio de um borrifador manual. Após a formação dos grânulos, estes foram peneirados de forma a seguir um padrão de 2 a 4 mm. Após a padronização do tamanho dos grânulos, o fertilizante foi seco em estufa de circulação forçada do ar ajustada para 40 °C, e novamente peneirado. As concentrações dos nutrientes presentes no fertilizante organomineral estão na Tabela 5.

A caracterização química do FOM foi realizada conforme recomendações da Embrapa (2009), com análises efetuadas no laboratório de Tecnologia de Fertilizantes. O N total foi obtido empregando-se o macrométodo da liga de Raney, o P total foi determinado pelo método gravimétrico do quimociac, o K foi quantificado por fotometria de chama. Para a mensuração do teor de boro utilizou-se do método volumétrico do D-manitol (D-sorbitol), o carbono orgânico foi quantificado por oxidação úmida com bicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, e titulação do bicromato remanescente com sulfato ferroso amoniacal; para transformação em teor de matéria orgânica no FOM, foi utilizado o fator de conversão de 1,72 (Van Ranst et al., 1999). Nas quantificações de cálcio, magnésio, cobre, ferro e zinco procedeu-se a extração com solução de ácido clorídrico em amostra do fertilizante que foi previamente queimada em mufla (500 °C por 1 h), com determinação direta das concentrações dos nutrientes por espectrofotômetro de emissão atômica com plasma induzido de argônio ICP-(AES). Na determinação da CTC foi utilizado o método do acetato de cálcio com titulação com NaOH.

**Tabela 5.** Características químicas do fertilizante organomineral produzido a partir de cama de frango.

N	P	K	B	MO	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	CTC
										cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
										g kg <sup>-1</sup>
49	291	15	0,05	202	18,9	3,7	0,1	2,6	0,2	31,6

MO - matéria orgânica

A cama de frango usada no cultivo do milho foi obtida na própria fazenda, já aquela usada no cultivo da soja foi adquirida na Mauricea Alimentos. As concentrações dos nutrientes, disponibilizadas por cada fornecedor da cama de frango, estão na Tabela 7.

Foi aplicado 0,7 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico cinco meses antes da semeadura do milho. A dose da adubação potássica utilizada foi de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl, para ambas as culturas. No milho, foram aplicados 115 kg ha<sup>-1</sup> de N, com parcelamento da adubação, aos 20 e 45 dias após a emergência (DAE); foram utilizados os produtos comerciais Nitrogold® (50 kg ha<sup>-1</sup> de N) e Nitromais® (65 kg ha<sup>-1</sup> de N). Os micronutrientes foram adicionados por meio de tratamento das sementes com o produto Broadacre CMZ (23,6% de cobre, 5,9% de molibdênio e 47,5% de zinco) na dose de 3,23 L ha<sup>-1</sup>; foi ainda adicionado, por meio de aplicação foliar, o produto Broadacre-Mn (50% Mn p/v – 72 g ha<sup>-1</sup> de Mn). Foi realizada a adição de enxofre (Sulfugran 90®) nas parcelas experimentais que não receberam o SSP de forma a balancear os níveis deste nutriente em todo o experimento e adicionar a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de S.

**Tabela 6.** Concentração de nutrientes contidos nas camas de frango utilizadas nos cultivos de milho e soja, conforme especificações fornecidas pelos fornecedores do material.

Nutriente (g kg <sup>-1</sup> )	Fazenda Colorado (milho)	Mauricea Alimentos (soja)
Nitrogênio	41,8	30
Fósforo	47,9	52
Potássio	30,4	40
Cálcio	n.i.	10
Magnésio	5,7	8
Enxofre	5,5	15
Boro	< 0,05	n.i.
Cobre	0,37	n.i.
Manganês	0,4	n.i.
Ferro	1,2	n.i.
Zinco	0,4	n.i.

n.i. não informado.

A cultivar de milho utilizada foi o híbrido Impacto de ciclo precoce e da soja 13-870 Intacta, ambos da Syngenta. Os cultivos foram realizados sob plantio direto, fazendo-se o uso de uma plantadora manual (matraca). Os sulcos para o enterrio dos adubos foram abertos com auxílio de um sacho.

#### 4.4.3 Fitomassa da Parte Aérea e Acúmulo de Fósforo das Culturas

Foram realizadas coletas para determinação da fitomassa aérea nos cultivos de milho e soja. As coletas constaram na retirada de duas plantas, em cada parcela experimental, com corte rente ao solo da parte aérea. Foram realizadas quatro amostragens de plantas, sendo cada realizada em uma linha de semeadura distinta, desprezando-se as duas linhas limítrofes de cada lateral da parcela. No cultivo do milho foram realizadas amostragens aos 21, 63 (florescimento), 84 (enchimento de grãos) e 148 DAE (colheita) das plântulas. Já na cultura da soja foram realizadas coletas aos 36, 44 (florescimento), 82 (enchimento de grãos) e 104 (colheita) DAE.

Para mensuração da biomassa das folhas senescentes da soja efetuou-se a delimitação com estacas de madeira de uma área de 0,5 m<sup>2</sup> em cada parcela experimental. Foi efetuada a limpeza dessa área para que fosse possível a visualização das folhas depositadas sobre o solo. As coletas das folhas senescentes foram realizadas semanalmente após o florescimento (44 DAE) de forma manual. No total, foram realizadas cinco coletas, sendo a massa correspondente às duas primeiras coletas adicionada às massas das plantas coletadas aos 82 DAE e das três últimas coletas àquelas amostradas aos 104 DAE.

Os materiais vegetais foram secos em estufa com circulação forçada do ar por 72 h e temperatura de 60 °C, pesados para determinação da matéria seca e moídos em moinho de facas. Nas amostras de tecido vegetal, a concentração de P foi determinada por digestão nitroperclórica e dosagem colorimétrica (Malavolta et al., 1997), e nas amostras de soja também foi determinada a concentração de N total pelo método Kjeldahl (Malavolta et al., 1997). Nas amostras das plantas de soja, os teores de P e N foram determinados apenas na coleta efetuada aos 82 DAE. Esta tomada de decisão foi fundamentada em uma prévia análise de variância da fitomassa acumulada, onde apenas a amostragem realizada aos 82 DAE

apresentou efeito dos tratamentos. O conteúdo do nutriente acumulado foi obtido pelo produto do teor do nutriente e a respectiva massa de matéria seca. As análises químicas dos tecidos vegetais foram realizadas no laboratório de análise de solo e plantas da Embrapa Solos.

#### 4.4.4 Análises de Solo

Ao final de cada ciclo produtivo, foram coletadas quatro amostras simples de solo em cada parcela experimental com trado holandês, sendo duas na linha de plantio e duas nas entrelinhas, de forma a compor uma amostra composta. O solo foi coletado nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm, foram coletadas amostras compostas obtidas de duas amostras simples, sendo uma na linha de plantio e outra na entrelinha. Em todas as amostras foi realizada a determinação de P disponível (Mehlich-1) (Donagemma et al., 2011).

#### 4.4.5 Determinação das Perdas de Solo por Erosão

Para a determinação das perdas de solo e P por erosão, foram instaladas parcelas de perda de solo em três repetições de cada tratamento avaliado, totalizando 63 parcelas. A declividade do terreno apresentava inclinação de 1,6%. Cada parcela continha uma área de captação de 3 m<sup>2</sup> (1,5 x 2 m). Folhas de aço galvanizado de 15 cm de altura foram utilizadas para delimitar as parcelas de perda de solo, que foram cravadas no solo até 5 cm de profundidade. A instalação foi realizada de forma a proporcionar a menor perturbação possível à estrutura do solo, para que não mascarasse a real erodibilidade. Um coletor com capacidade volumétrica de 5 L foi instalado no exutório de cada parcela de perda de solo. A Figura 6 apresenta a parcela para coleta do escoamento superficial.



**Figura 6.** Parcela de perda de solo após a instalação (à esquerda) e com plantas de soja aos 44 dias após emergência (florescimento) e detalhe do coletor de enxurrada.

As coletas foram realizadas após cada evento chuvoso, quando houve escoamento superficial. Após a coleta da enxurrada no campo, as amostras foram filtradas em papel filtro para separação da água do sedimento e submetidas ao congelamento. Nas amostras de água

foram determinadas as concentrações do P reativo dissolvido (íon ortofosfato). Para a separação do P dissolvido, as amostras foram descongeladas e filtradas em membrana esterilizante de nitrocelulose (malha de 0,45 µm), conforme recomendado por Pote & Daniel (2000), para a remoção das partículas em suspensão, por meio de um sistema de filtração a vácuo. A determinação da concentração do íon ortofosfato na solução foi realizada pelo método colorimétrico de Murphy & Riley (1962). O solo perdido por erosão foi seco ao ar para determinação dos teores de P disponível (Mehlich-1) (Donagemma et al., 2011) no laboratório de análises de solos e plantas da Embrapa Solos.

A quantidade de P perdido por erosão foi determinada pelo produto do teor mensurado na água da enxurra e do volume escoado, para cada parcela experimental. Os valores totais do volume escoado, P e solo perdido foram determinados através do somatório das quantidades presentes em todas as precipitações em que foi registrado escoamento superficial.

#### **4.4.6 Rendimento de Grãos**

Para a determinação da produtividade, os grãos foram coletados em uma área de 10 m<sup>2</sup> (2 x 5 m) em cada parcela. Desprezaram-se as duas linhas de cada lateral e 1,0 m em cada lado da maior dimensão da parcela. Para a colheita de milho, efetuou-se a coleta apenas das espigas presentes nas plantas. Na colheita da soja, retirou-se toda a parte aérea das plantas. Em ambas as culturas, a separação dos grãos foi realizada com uma trilhadeira estacionária que retirava os grãos e promovia sua separação por meio de ventilação e peneiramento. A mensuração da umidade dos grãos foi realizada através da secagem em estufa com temperatura de 105 °C, até peso constante, a partir de uma amostragem realizada em todas as parcelas experimentais. A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

No cultivo da soja, foram também colhidas as plantas presentes em uma subparcela de 2 m<sup>2</sup> em cada parcela, onde foi contado o número de plantas, de vagens e de grãos. Foram determinados os componentes de produção número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos.

#### **4.4.7 Análise Estatística**

Os dados obtidos em cada cultivo foram submetidos à análise de variância como um fatorial triplo entre formas de aplicação dos fertilizantes, fontes de P e doses de P, excluindo-se os dados das parcelas controle sem aplicação de P. As médias das variáveis qualitativas (formas de aplicação e fontes de P) foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Os dados foram ajustados a modelos de regressão de 1<sup>o</sup> grau e de 2<sup>o</sup> grau, considerando-se a dose de P aplicada como variável independente, incluindo-se os dados obtidos nos tratamentos sem aplicação de P como a dose zero. A escolha do modelo foi efetuada com base na significância dos coeficientes pelo teste F ( $p \leq 0,1$ ) ajustados aos parâmetros de 1<sup>o</sup> grau e de 2<sup>o</sup> grau. O ajuste foi feito para cada tratamento separadamente, mesmo que a análise de variância anterior não tenha identificado interações triplas significativas entre os fatores avaliados, pois a inclusão da dose zero no ajuste da regressão modificou a resposta às doses de fertilizante.

Foi efetuada outra análise de variância, reunindo os dados do tratamento adicional com adubação com cama de frango e os dados das demais fontes de P na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> e aplicação a lanço, considerando um único fator, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o software SISVAR (Ferreira, 1998).

## 4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Fitomassa de Parte Aérea e Acúmulo de Fósforo nas Plantas

As fontes de P avaliadas promoveram diferentes acúmulos de biomassa aos 21 DAE. Na interação dos fatores fonte e forma de adubação, apenas a aplicação a lanço apresentou efeito das fontes de P sobre os acúmulos de fitomassa. A menor média foi observada na adubação com o SSP ( $4,7 \text{ g planta}^{-1}$ ), sem diferença entre o FOM e o MAP, que exibiram valores de  $8,3$  e  $7,1 \text{ g planta}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 7). A adição de N promovida pelo MAP (10 - 11% N) e pelo FOM (aproximadamente 1%,  $202 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica) (Tabela 5) pode ter promovido este maior acúmulo de biomassa na fase inicial de desenvolvimento do milho, resposta que não foi observada nas outras amostragens. Nas demais avaliações não houve diferença das fontes de P sobre a fitomassa das plantas (Tabela 7).

Respostas semelhantes para o acúmulo de fitomassa em aveia (*Avena sativa*) foram observadas quando foi comparado um fertilizante organomineral fluido obtido a partir de dejetos de suíno em relação a um fertilizante mineral fluido e outro sólido em um Latossolo Vermelho Distroférrico ( $474 \text{ g kg}^{-1}$  de argila) e um Neossolo Quartzarênico Órtico típico ( $90 \text{ g kg}^{-1}$  de argila) (Fernandes et al., 2015).

A aplicação localizada dos fertilizantes acarretou maiores médias nas amostragens realizadas aos 21 e 63 DAE. Foram observadas maiores valores de fitomassa de parte aérea na adubação com MAP e SSP quando estes foram aplicados no sulco de semeadura, em detrimento à aplicação a lanço. Nas avaliações que ocorreram aos 84 e 148 DAE, a forma da adubação fosfatada apresentou efeito apenas para o SSP, com maior média na adubação enterrada (Tabela 7).

A aplicação localizada do adubo fosfatado tende a propiciar maior crescimento das plantas na fase inicial do desenvolvimento, em detrimento da adubação a lanço, devido à maior proximidade do fertilizante às raízes, ficando menos suscetível às reações de adsorção (Malavolta, 1981). Nota-se que a maior diferença no acúmulo de fitomassa entre as formas de adubação ocorreu com o uso do SSP aos 21 DAE. Este fertilizante apresenta menor solubilidade que o MAP, neste caso, a maior proximidade do adubo na fase inicial do sistema radicular foi mais pronunciada, apresentando diferença de 43% na fitomassa acumulada.

Para as análises de regressão da fitomassa de parte aérea, incluindo a dose zero, na avaliação realizada aos 21 DAE, o modelo quadrático apresentou melhor ajuste para o MAP aplicado no sulco de semeadura e para o SSP nas duas formas de adubação. No FOM aplicado a lanço, a resposta apresentou modelo linear. Houve significativas respostas às doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em todos os tratamentos, exceto no FOM e MAP aplicados a lanço. Aos 63 DAE, apenas o MAP aplicado de forma localizada apresentou resposta às doses, com modelo de regressão apresentando ajuste linear (Figura 7).

**Tabela 7.** Fitomassa de parte aérea de plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 dias após emergência (DAE), sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	Fitomassa de parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )						
	Enterrado	A lanço	Média	Enterrado	A lanço	Média	
		21 DAE			84 DAE		
FOM	7,6	8,3 a	8,0 a	220	198	209 a	
MAP	8,9 A	7,1 Ba	8,0 a	188	193	190 a	
SSP	8,3 A	4,7 Bb	6,5 b	205 A	174 B	190 a	
Média	8,3 A	6,7 B		204 A	188 A		
		63 DAE			148 DAE		
FOM	114	100	107 a	336	340	338 a	
MAP	120 A	89,9 B	105 a	348	345	347 a	
SSP	110 A	81,1 B	95,9 a	373 A	323 B	348 a	
Média	114 A	90,5 B		352 A	336 A		

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

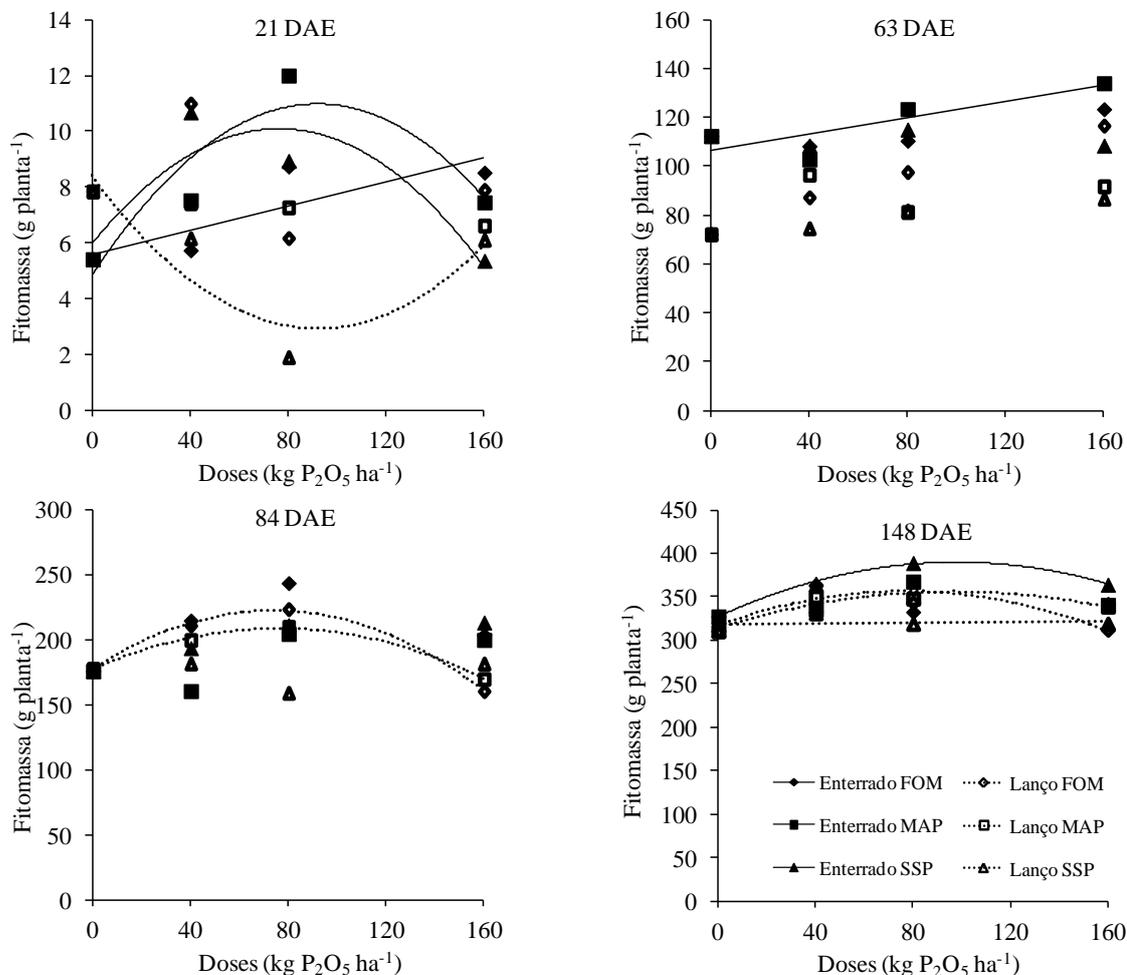
O FOM e o MAP aplicados a lanço apresentaram regressão quadrática e significativa aos 84 e 148 DAE para o acúmulo de fitomassa na parte aérea do milho. Nesta última avaliação, também houve efeito da aplicação localizada do SSP, com ajuste quadrático. A dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para máximo acúmulo de fitomassa foi de 106, 85 e 96 kg ha<sup>-1</sup>, para o SSP enterrado no sulco de semeadura, MAP e FOM aplicados a lanço, respectivamente. As doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram mais determinantes na primeira avaliação e última avaliação, sem grandes interferências nas demais avaliações (Figura 7).

O acúmulo de matéria seca na cultura do milho é contínuo ao longo do desenvolvimento da cultura, existindo um período de acúmulo mais acentuado na fase que antecede a floração (Furlani et al., 1977), que poderia ter suscitado respostas às doses e formas de adubação até a fase de florescimento (Tabela 7 e Figura 7). No entanto, o presente trabalho apresentou maiores acúmulos de matéria seca da fitomassa aérea após o florescimento, mantendo-se crescente até a amostragem realizada na ocasião da colheita. Resultados semelhantes foram registrados por Duarte et al. (2003), que encontraram maiores acúmulos de matéria seca após o florescimento em diversos genótipos de milho avaliados.

O acúmulo de P na parte aérea foi maior quando as plantas de milho foram adubadas com MAP aos 21 DAE. Quando houve interação do fator fonte com a forma de adubação a lanço, o FOM apresentou maior média com acúmulo de 26,6 mg P planta<sup>-1</sup>. Na adubação localizada ocorreu maiores acúmulos de P nas plantas, com valor de 26,8 mg P planta<sup>-1</sup>, enquanto na adubação a lanço esta média foi de 21,5 mg P planta<sup>-1</sup> (Tabela 8).

Aos 63 DAE foi observada diferença no acúmulo de P apenas entre as formas de adubação, sendo maior na aplicação localizada (Tabela 8). A avaliação do estado nutricional das plantas de milho é comumente realizada neste estágio, quando o efeito da diluição dos nutrientes é mínimo e a planta já atingiu seu potencial de crescimento e armazenamento dos órgãos vegetativos, esta fase é precedida por intensa absorção do nutriente (Coelho et al., 2006). Os maiores acúmulos de P ocorreram até a fase de florescimento. Após a etapa de

enchimento de grãos houve redução na massa de P acumulada, indicando a translocação do nutriente para os grãos. Duarte et al. (2003) encontraram maior acúmulo de P após o florescimento em genótipos de milho. Rosa (2017) encontrou resultado semelhante ao demonstrado neste trabalho.



**Figura 7.** Fitomassa da parte aérea de plantas de milho, sob quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais.

Aos 148 DAE o MAP apresentou maior acúmulo de P na adubação a lanço, no entanto, quando houve o enterrio dos fertilizantes a maior média foi observada no SSP. Nas condições experimentais a adubação localizada permitiu maior acúmulo de P nas plantas (Tabela 8). A tomada de decisão da adoção desta forma de adubação deve ser respaldada na relação entre do custo de implantação da cultura do milho, já que esta prática apresenta maior consumo de combustível para que a haste da plantadeira-adubadeira enterre o fertilizante, e o montante de P que retorna ao solo via deposição da palhada após a colheita dos grãos.

Carmo et al. (2014) avaliaram acúmulo de fitomassa aérea em mudas de café em solo adubado com FOM Biorin®, SSP, fosfato natural, termofosfato magnesiano e fostato natural + torta de filtro, verificando maior biomassa nas mudas adubadas com o organomineral e com

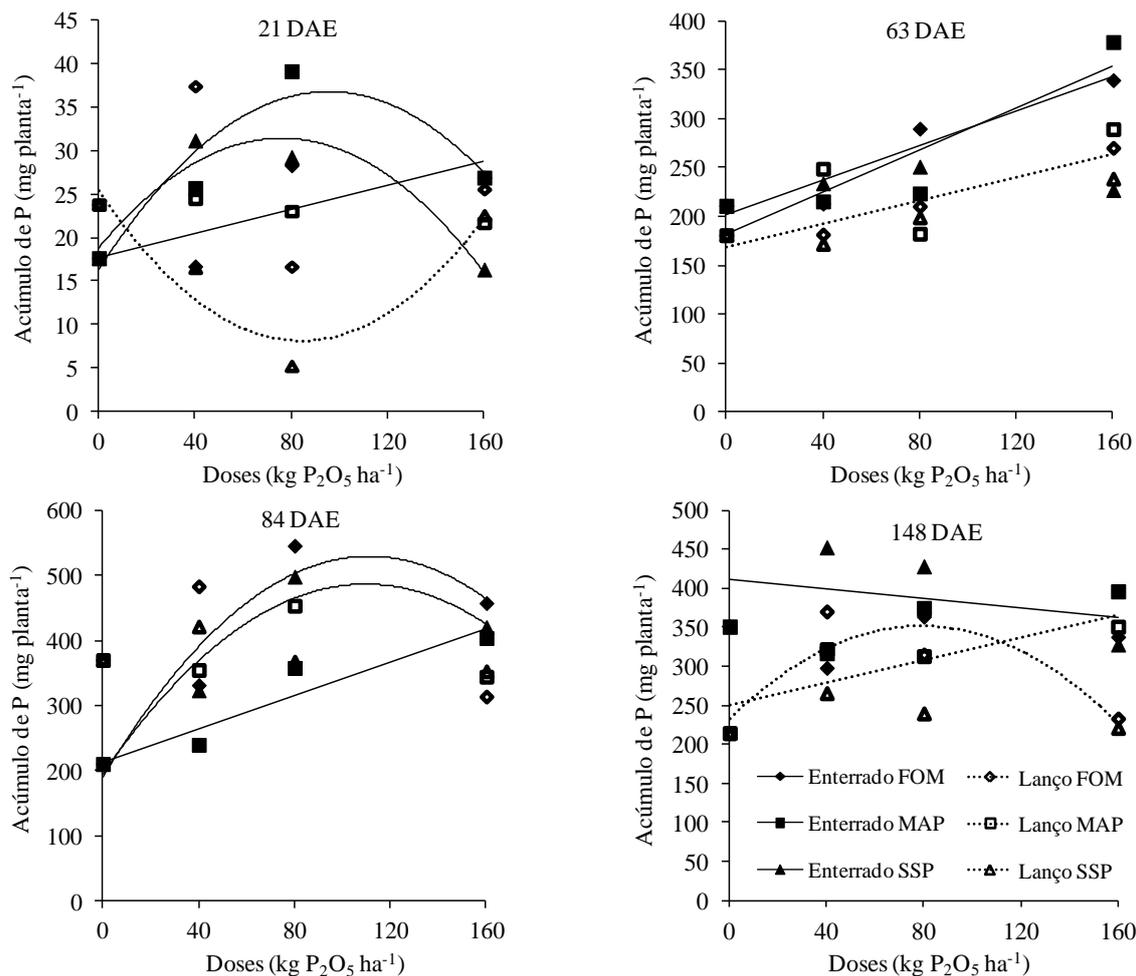
o fosfato de rocha + torta de filtro; esta resposta foi dependente da dose de P. Além disto, o FOM propiciou maiores acúmulos de macro e micronutrientes que a maioria das demais fontes testadas. Os autores atribuíram estas respostas à maior disponibilidade de P proporcionada pela competição dos sítios de adsorção promovida pelos ácidos orgânicos provenientes da decomposição da matéria orgânica e aumento da solubilidade de P pelo microorganismos.

**Tabela 8.** Acúmulo de P em parte aérea de plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 DAE, sob três doses de P de fertilizantes organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	Acúmulo de P (mg planta <sup>-1</sup> )					
	Enterrado	A lanço	Média	Enterrado	A lanço	Média
		21 DAE			84 DAE	
FOM	24	26,6 a	25,3 ab	444	383	415
MAP	30,6 A	23,1 Bab	26,9 a	333	384	359
SSP	25,6 A	14,8 Bb	20,2 b	414	380	397
Média	26,8 A	21,5 B		397	383	
		63 DAE			148 DAE	
FOM	280	220	250	333 b	306 ab	320
MAP	272	240	256	362 ab	320 a	341
SSP	237	203	220	403 Aa	242 Bb	322
Média	237 A	221 B		366 A	289 B	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de P apresentou resposta significativa às doses em todos os tratamentos, exceto no FOM e MAP aplicados a lanço aos 21 DAE. As doses de P apresentaram resposta significativa quando o FOM e MAP foram aplicados no sulco de semeadura e o FOM aplicado a lanço aos 63 DAE. Aos 84 DAE todas as fontes apresentaram resposta significativa à fertilização localizada. A fase que antecede o florescimento, onde há determinação dos componentes de produção e a etapa de enchimento de grãos, 84 DAE, que determina o ganho de matéria seca dos grãos, correspondem às fases de maiores demandas por P (Coelho et al., 2006), que pode ter culminado nestas respostas positivas ao aumento das doses de P. Nestas duas fases de desenvolvimento os ajustes das respostas foram lineares, exceto pelo FOM e SSP aplicado de forma localizada, que apresentaram ajuste quadrático aos 84 DAE, sendo o maior acúmulo na dose estimada de 111 e 109 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente (Figura 8). Aos 148 DAE, o SSP aplicado no sulco de semeadura, e o MAP a lanço apresentaram resposta linear às doses de P, enquanto o FOM aplicado a lanço apresentou resposta quadrática. A dose de maior resposta do FOM foi estimada em 79 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 8).



**Figura 8.** Acúmulo de P em plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 dias após emergência (DAE), sob quatro doses de P (0, 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lançado). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais.

Na avaliação do tratamento adicional, onde a adubação foi realizada com cama de frango na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada a lançado, houve menor acúmulo de fitomassa nas plantas de milho adubadas com SSP aos 21 DAE, sem diferenças entre as demais fontes. É provável que o N presente no MAP e os nutrientes presentes na cama de frango pura e do FOM tenha favorecido o maior acúmulo de fitomassa na fase inicial de desenvolvimento. Aos 84 DAE a adubação com o FOM apresentou maior fitomassa com média de 223,48 g planta<sup>-1</sup>, enquanto a cama de frango apresentou menor efeito sobre a fitomassa com valor de 168,50 g planta<sup>-1</sup>. Nas demais avaliações não foram observadas diferenças entre as fontes (Tabela 9).

**Tabela 9.** Fitomassa e acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 dias após emergência (DAE), adubadas com fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	21 DAE	63 DAE	84 DAE	148 DAE
Fitomassa (g planta <sup>-1</sup> )				
FOM	6,17 a	97,69	223,48 a	344,05
MAP	7,27 a	81,32	209,87 ab	348,22
SSP	1,89 b	81,91	159,10 bc	319,21
Cama de frango	8,66 a	87,53	168,50 b	348,59
Acúmulo de fósforo (mg planta <sup>-1</sup> )				
FOM	16,73 ab	210,35	362,32	315,45
MAP	23,13 a	182,25	453,54	313,48
SSP	5,30 b	198,97	367,55	240,04
Cama de frango	25,62 a	191,43	331,72	273,90

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nos acúmulos de P o MAP e a cama de frango apresentaram maiores médias, seguidos do FOM e SSP apenas aos 21 DAE, sem efeito significativo de fonte nas outras amostragens (Tabela 9). Os dados experimentais sugerem que o FOM pode ser utilizado na adubação do milho, as médias para os acúmulos de fitomassa e P foram semelhantes ou mesmo superiores aos fertilizantes minerais ou mesmo em relação ao uso da cama de frango.

#### 4.5. 2 Fitomassa de Parte Aérea e Acúmulo de Fósforo nas Plantas de Soja

Na comparação das médias, não houve efeito significativo das fontes e formas de adubação sobre a fitomassa aérea da soja em todas as épocas de amostragens. O maior acúmulo de fitomassa da parte aérea ocorreu entre as fases de florescimento e enchimento dos grãos, com posterior decréscimo até a colheita de grãos (Tabela 10).

A aplicação localizada do P promoveu maior acúmulo de fitomassa e P durante a fase do florescimento e maior produtividade de grãos de soja em relação à adubação a lanço em um Latossolo Vermelho muito argiloso, cultivado há 17 anos com aplicação do P no sulco de semeadura ou aplicado a lanço em área total (dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Nunes, 2014).

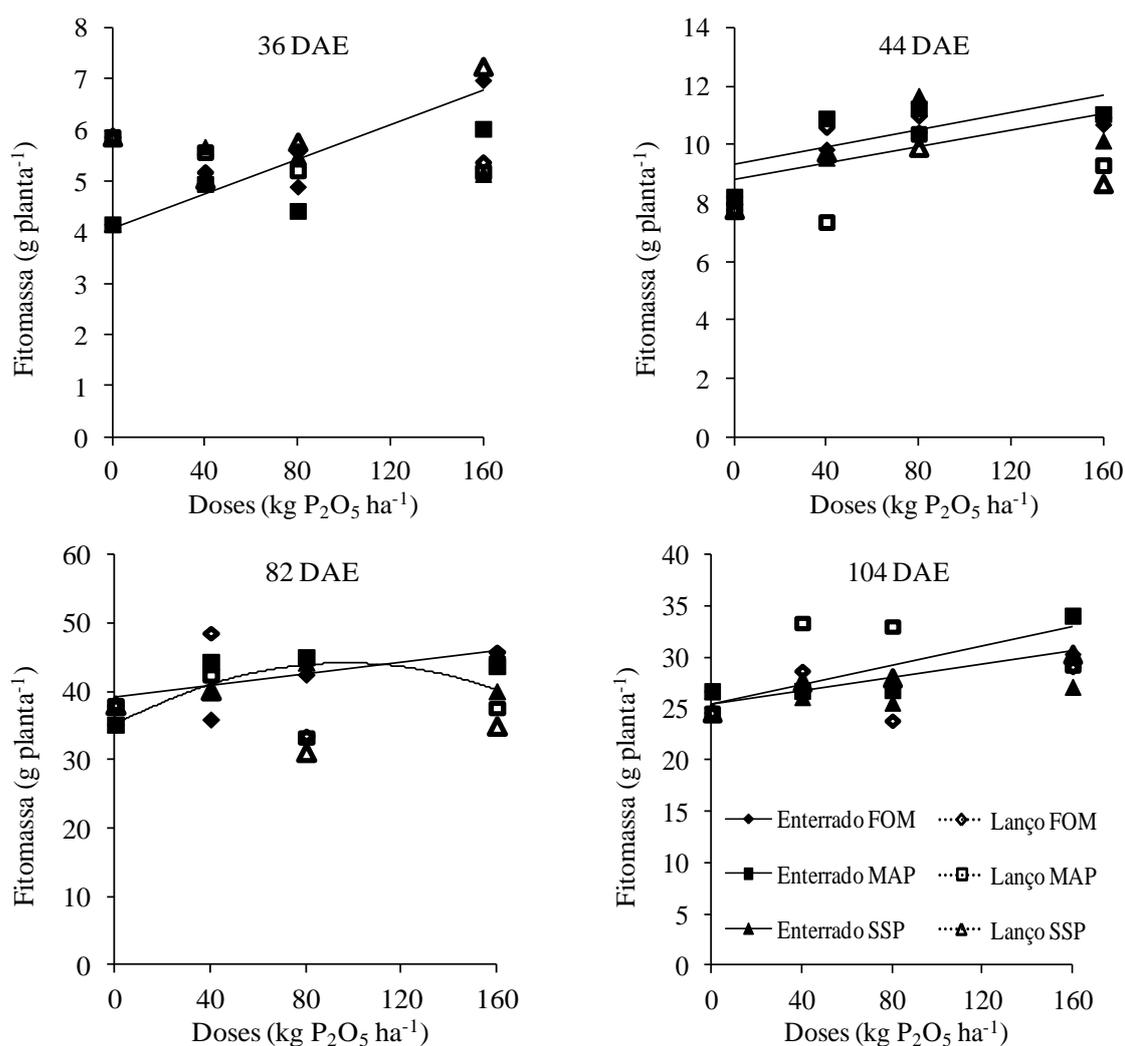
**Tabela 10.** Fitomassa de parte aérea de plantas de soja aos 36, 44, 82 e 104 dias após emergência (DAE), sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	Fitomassa de parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )					
	Enterrado	A lanço	Média fonte	Enterrado	A lanço	Média fonte
	36 DAE			82 DAE		
FOM	5,61	5,38	5,49	41,24	42,71	41,91
MAP	5,13	5,32	5,22	44,44	37,82	41,43
SSP	5,43	6,01	5,72	41,62	35,47	38,55
Média aplicação	5,39	5,57		42,43	38,67	
	44 DAE			104 DAE		
FOM	13,32	10,85	10,58	28,24	27,25	27,74
MAP	11,06	9,01	10,03	29,27	31,92	30,59
SSP	10,45	9,43	9,94	26,35	28,69	27,52
Média aplicação	10,61	9,76		27,95	29,29	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As respostas significativas da fitomassa às doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ocorreram na aplicação localizada do FOM aos 36, 44 e 82 DAE com ajuste linear. Para o MAP enterrado houve incrementos linear na fitomassa aos 44 e 104 DAE. A adubação com o SSP promoveu aumento da fitomassa aos 82 DAE quando aplicado no sulco de semeadura e aos 104 DAE quando foi aplicado a lanço, com ajuste quadrático e linear, respectivamente (Figura 9).

Para os conteúdos de P e N, optou-se por realizar as determinações apenas nas plantas coletadas aos 82 DAE. Os acúmulos de P e N nas plantas de soja, média das fontes, apresentaram diferença significativa com maiores médias exibidas no FOM e MAP. O processo de nitrificação do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, presente no MAP e FOM, para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> diminui o pH do meio e a absorção do amônio aumenta a acidez da rizosfera, que poderiam promover a dissolução dos fosfatos de cálcio presentes no solo (Chien et al., 2011), aumentando a disponibilidade de P passível a absorção pelas plantas. Estas fontes de P também proporcionaram maiores acúmulos de P nas plantas de milho aos 21 e 148 DAE (Tabela 9) e nos grãos de milho (Tabela 15).



**Figura 9.** Fitomassa da parte aérea de plantas de soja aos 36, 44, 82 e 104 dias após emergência (DAE), sob quatro doses de P (0, 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicadas no solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais.

A adubação com o FOM a lanço promoveu maior acúmulo de nutrientes nas plantas de soja, apresentando médias de 73,76 e 1,21 mg planta<sup>-1</sup> de P e N, respectivamente. Os menores conteúdos de P e N foram obtidos com o uso do SSP. A forma da adubação fosfatada não interferiu sobre os acúmulos dos nutrientes (Tabela 11).

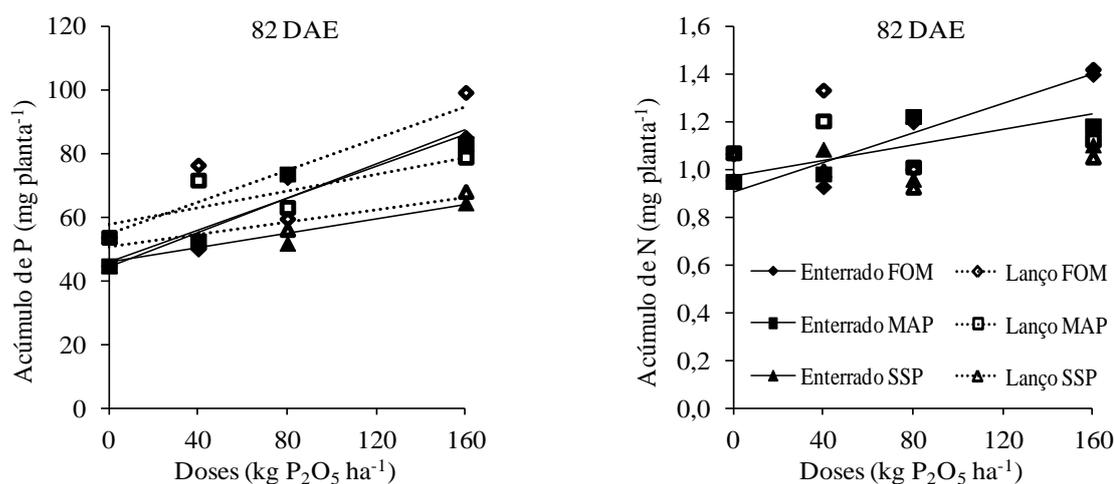
O P tem importância nas reações fotossintéticas e no metabolismo de C, processos fundamentais para assimilação e utilização de N (Alves et al., 1999). O P e o N possuem ação sinérgica, onde a ação conjunta dos nutrientes promove aumentos na produção vegetal superiores, se for realizada a aplicação isolada de cada nutriente (Davidson & Howarth, 2007).

**Tabela 11.** Acúmulo de P e N em parte aérea de plantas de soja aos 82 DAE, sob três doses de P (40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	Enterrado	A lanço	Média fonte
Acúmulo de P (mg planta <sup>-1</sup> )			
FOM	69,17	78,35 a	73,76 a
MAP	69,70	71,18 ab	70,44 a
SSP	56,53	58,79 b	57,66 b
Média manejo	65,13	69,44	
Acúmulo de N (g planta <sup>-1</sup> )			
FOM	1,17	1,25 a	1,21 a
MAP	1,12	1,11 ab	1,11 ab
SSP	1,04	0,99 b	1,01 b
Média manejo	1,11	1,11	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incitou no incremento dos conteúdos de P na parte aérea da soja em todos os tratamentos, com ajuste linear das médias. Para o acúmulo de N apenas o FOM e MAP aplicados no sulco de semeadura apresentaram resposta às doses de P, com ajustes lineares (Figura 10).



**Figura 10.** Acúmulo de P e N em plantas de soja aos 82 DAE, sob quatro doses de P (0, 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais.

Para a cultura da soja, a comparação das fontes com o tratamento adicional com cama de frango suscitou em maior resposta da fitomassa para o MAP apenas aos 104 DAE, as demais avaliações não apresentaram efeito significativo das fontes (Tabela 12). Para os acúmulos de N e P aos 82 DAE, os tratamentos não diferiram (Tabela 13).

Diante dos dados apresentados, o FOM pode ser utilizado na adubação da soja, além disto, a forma de aplicação dos fertilizantes pode ser optada a partir de dados econômicos ou regime de chuva na época de implantação da cultura, a depender da janela de plantio. Cabe ressaltar que o baixo volume de chuva acumulado durante o cultivo da soja pode ter amortizado o efeito dos tratamentos avaliados, portanto, para que as recomendações de adubação fosfatada tenham maior acurácia, outros ensaios devem ser avaliados.

**Tabela 12.** Fitomassa de parte aérea de plantas de soja aos 36, 44, 82 e 104 dias após emergência (DAE), adubadas com fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	36 DAE	44 DAE	82 DAE	104 DAE
	g planta <sup>-1</sup>			
FOM	5,59	11,00	33,61	23,89 b
MAP	5,21	10,37	33,36	33,07 a
SSP	5,76	9,91	31,19	28,06 b
Cama de frango	5,92	8,61	40,64	27,71 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 13.** Acúmulo de P e N em parte aérea de plantas de soja aos 82 DAE, adubadas com fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	Acúmulo de P (mg planta <sup>-1</sup> )	Acúmulo de N (g planta <sup>-1</sup> )
FOM	59,50	1,00
MAP	63,09	1,01
SSP	56,10	0,92
Cama de frango	56,65	1,01

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.5.3 Produção de Grãos de Milho

Não houve diferença significativa das fontes de P sobre a produtividade de milho, as médias variaram de 6,43 Mg ha<sup>-1</sup> para o MAP a 6,38 Mg ha<sup>-1</sup> para o SSP na média das fontes. A resposta da produção de milho foi determinada pela forma de adubação, a aplicação localizada dos fertilizantes obteve uma produtividade de 6,73 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto na adubação a lanço foi de 6,20 Mg ha<sup>-1</sup>, redução de cerca de 8% no rendimento de grãos (Tabela 14). O comportamento da forma da adubação foi semelhante àquele observado para o acúmulo de fitomassa aérea (Tabela 7).

O acúmulo de P nos grãos não foi determinado pela forma da adubação, no entanto, houve diferença significativa para as fontes avaliadas quando estas foram aplicadas a lanço. O

MAP apresentou maior média, com acúmulo de 20,83 kg P ha<sup>-1</sup>, a menor média foi observada para o SSP que apresentou valor de 16,26 kg P ha<sup>-1</sup> (Tabela 14).

**Tabela 14.** Produtividade de grãos e acúmulo de P nos grãos de milho, sob três doses de P de fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), interação fonte e manejo.

Fonte	Enterrado	A lanço	Média fonte
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )			
FOM	6,91 A	6,25 B	6,58
MAP	6,49	6,38	6,43
SSP	6,79 A	5,97 B	6,38
Média aplicação	6,73 A	6,20 B	
Acúmulo de P nos grãos (kg P ha <sup>-1</sup> )			
FOM	20,14	18,54 ab	19,34 ab
MAP	19,03	20,83 a	19,93 a
SSP	18,56	16,26 b	17,41 b
Média aplicação	19,25	18,54	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito da forma da adubação fosfatada sobre a produtividade do milho, sem a respectiva resposta sobre o acúmulo do P pode ser devido as possíveis diferenças sobre a disponibilidade de K quando este foi aplicado a lanço ou enterrado no sulco de semeadura. A fração argila dos solos da região da área experimental é composta, em sua maioria, por caulinita (Freitas et al., 2014). Além disto, já apresentava acidez corrigida até 40 cm de profundidade (pH em água na camada de 0 a 10 cm de 6,3; 10 a 20 cm de 5,9 e 20 a 40 cm de 5,6), considerando a faixa de pH usualmente trabalhadas em solos agrícolas, que varia de 5,0 a 7,0 (Gleber et al., 2011). Sabe-se que o argilomineral caulinita apresenta carga variável, em função do pH do meio. As características de carga variável conferem aos solos a capacidade de retenção de ânions em elevada acidez e de cátions em valores de pH mais elevados. O ponto isoelétrico da caulina ocorre em valor de pH de 5,25 (Braggs et al., 1994), portanto, o pH que o solo apresentava anterior à instalação do experimento sugere que havia o predomínio de cargas negativas na superfície do argilomineral, o que confere ao solo maior retenção de cátions. Portanto, a adubação localizada do K pode ter permitido maior disponibilidade do nutriente e, desta forma, ter promovido maior produtividade do milho.

O aumento na produtividade do milho na adubação localizada, sem resposta desta variável sobre o acúmulo de P, também pode ser explicado pelo suprimento de P a apenas uma fração do sistema radicular, o que pode ter promovido limitação interna da ciclagem de P no milho (Striker et al., 1974), o que, aparentemente não ocorre na soja (Machado et al., 1983).

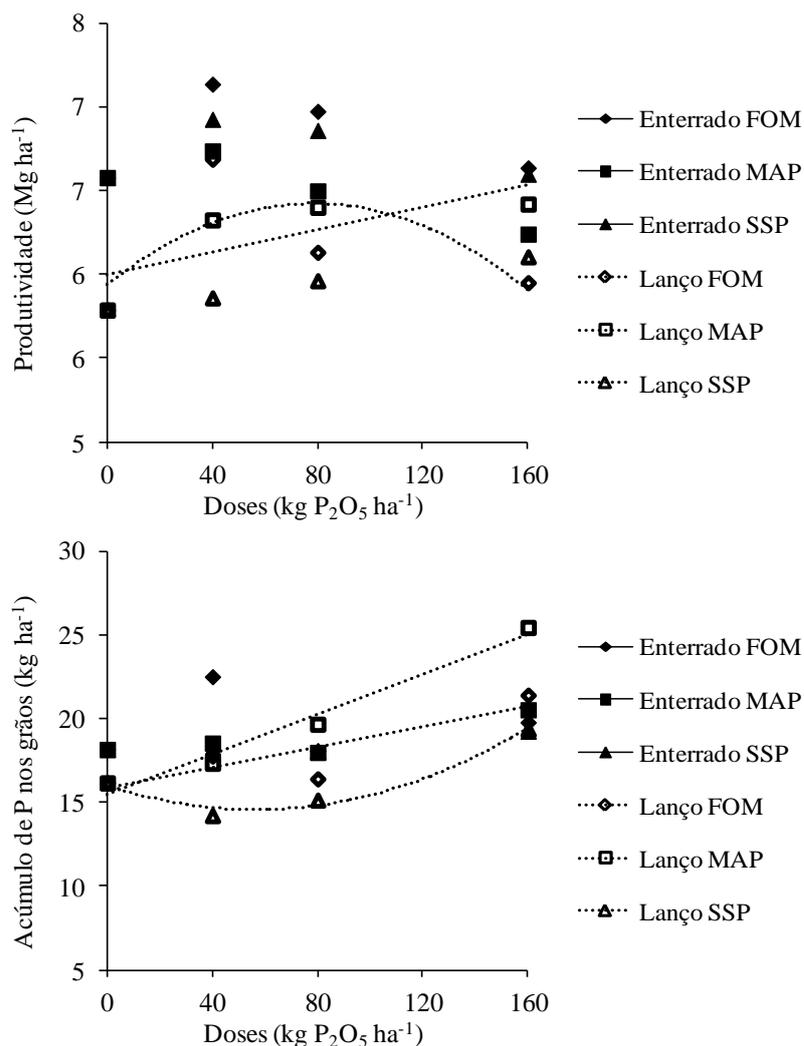
O fornecimento de P a parte do sistema radicular de milho cultivado em solução nutritiva foi responsável por um menor acúmulo de N, K, Ca e Mg na parte aérea quando comparado ao fornecimento de P para todo o sistema radicular das plantas (Alves et al., 1999). É possível ainda que a forma de adubação tenha influenciado no acúmulo de demais nutrientes, sobretudo o K que foi aplicado juntamente com o P, podendo interferir na produtividade (Tabela 14).

O enterrio do fertilizante pode ter promovido o desenvolvimento do sistema radicular em maior profundidade em relação à adubação a lanço. O desenvolvimento do sistema radicular responde a disponibilidade do nutriente no solo, havendo maior desenvolvimento onde ele é mais prontamente disponível (Robinson, 1996). Como as perdas de água do solo ocorrem mais rapidamente nas camadas superficiais, durante os veranicos que ocorreram durante o experimento, as plantas podem ter sofrido maior estresse hídrico, que interfere diretamente na produção. No florescimento (63 DAE), houve maior acúmulo de matéria seca na adubação localizada (Tabela 7), esta fase representa alta demanda hídrica e determina os componentes de produção (Coelho et al., 2006).

As produtividades médias de milho foram superiores quando a adubação fosfatada foi enterrada em sulco duplo, seguida de sulco simples ou aplicado a lanço com incorporação até 20 cm de profundidade em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (660 g kg<sup>-1</sup> de argila) com baixo teor inicial de P assimilável (Prado et al., 2001). A forma de aplicação do P provocou menores alterações no teor foliar de P, sendo menor na adubação a lanço, sem diferença para as demais formas, no entanto, não interferiu sobre os conteúdos foliares dos demais macronutrientes (Prado et al., 2001). Maior produtividade de milho ocorreu na aplicação de P a lanço em faixa sobre o sulco do plantio em detrimento a adubação enterrada, porém, não houve diferença entre as fontes avaliadas (SSP e fosfato natural reativo) em um Latossolo Vermelho-Amarelo (300 g kg<sup>-1</sup> de argila) (Collier et al., 2008).

Quando foi incluída a dose zero nas análises de regressão, a produtividade apresentou resposta ao aumento no fornecimento de P para o FOM e MAP aplicados a lanço. O ajuste das equações foi linear para o MAP e quadrático para o FOM, neste, a dose de P aplicada que apresentou maior produtividade foi estimada em 78 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. No acúmulo de P nos grãos, todos os fertilizantes aplicados a lanço apresentaram resposta ao aumento das doses de P. Apenas o SSP a lanço apresentou ajuste quadrático das médias, a dose de máxima produtividade foi estimada em 56,6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Figura 11).

A adubação com a cama de frango não apresentou diferença do FOM e das fontes minerais na produtividade e o acúmulo de P nos grãos de milho. As produtividades variaram de 5,75 a 6,40 Mg ha<sup>-1</sup>, para a cama de frango e MAP, respectivamente. Já os acúmulos de P nos grãos de milho oscilaram de 15,16 Mg ha<sup>-1</sup> para o SSP e 19,68 Mg ha<sup>-1</sup> para o MAP (Tabela 24).



**Figura 11.** Produção de grãos e acúmulo de P nos grãos de milho, sob quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais.

**Tabela 15.** Produtividade e acúmulo de P nos grãos de milho, adubadas com fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	Acúmulo de P (kg P ha <sup>-1</sup> )
FOM	6,13	16,42
MAP	6,40	19,68
SSP	5,96	15,16
Cama de frango	5,75	15,71

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.5. 4 Produção de Grãos de Soja

Na comparação das médias, não houve diferenças significativas nos parâmetros de produtividade e acúmulos de P e N nos grãos para os fatores isolados. As produtividades variaram de 1,77 Mg ha<sup>-1</sup> na adubação com o SSP a 1,85 Mg ha<sup>-1</sup> com o FOM, média das fontes. Resposta significativa foi observada no acúmulo de P na interação das fontes com a adubação a lanço, onde o FOM apresentou maior média, com valor de 5,54 kg P ha<sup>-1</sup>. As formas de aplicação dos adubos foram determinantes sobre o acúmulo de N nos grãos para as plantas fertilizadas com o SSP, a aplicação no sulco de semeadura apresentou valor de 85,5 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto na adubação a lanço foi de 76,1 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 16).

**Tabela 16.** Produtividade de grãos, acúmulo de P e N nos grãos de soja, sob três doses de P de fertilizantes organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	Enterrado	A lanço	Média
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )			
FOM	1,83	1,86	1,85
MAP	1,78	1,81	1,79
SSP	1,93	1,6	1,77
Média	1,85	1,76	
Acúmulo de fósforo (kg P ha <sup>-1</sup> )			
FOM	4,83	5,54 a	5,18
MAP	4,63	5,07 ab	4,85
SSP	4,63	4,30 b	4,47
Média	4,70	4,97	
Acúmulo de nitrogênio (kg N ha <sup>-1</sup> )			
FOM	74,5	81,9	78,2
MAP	75,3	75,8	75,6
SSP	85,5 A	70,6 B	78,1
Média	78,5	76,1	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As doses apresentaram resposta, quando incluída a dose zero, apenas para o acúmulo de P nos grãos de soja na adubação com o FOM a lanço, onde houve ajuste quadrático das médias observadas e dose de maior resposta estimada em 130 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. O aumento no suprimento de P implicou em aumento nos conteúdos de N nos grãos quando foi empregado o MAP enterrado no sulco do plantio e o FOM nas duas formas de adubação (Figura 12).

A falta de resposta aos tratamentos sobre a produtividade da soja pode ser devido aos teores iniciais de P assimilável do solo (Tabela 4). Solos com fertilidade e acidez corrigidos podem não responder à adubação fosfatada. Lacerda et al. (2015) não encontraram respostas da produtividade de soja com o aumento de doses de P e K em um Latossolo Vermelho-Amarelo (470 g kg<sup>-1</sup> argila) com altos teores de P assimilável, no entanto, houve incremento na produtividade do milho em rotação. Vale ressaltar que o milho é mais responsivo ao manejo da fertilidade do solo em relação à soja (Wendling et al., 2008). Brevilieri (2012)

também não observou aumento na produtividade da soja com o aumento das doses de  $P_2O_5$  em solo com fertilidade corrigida.

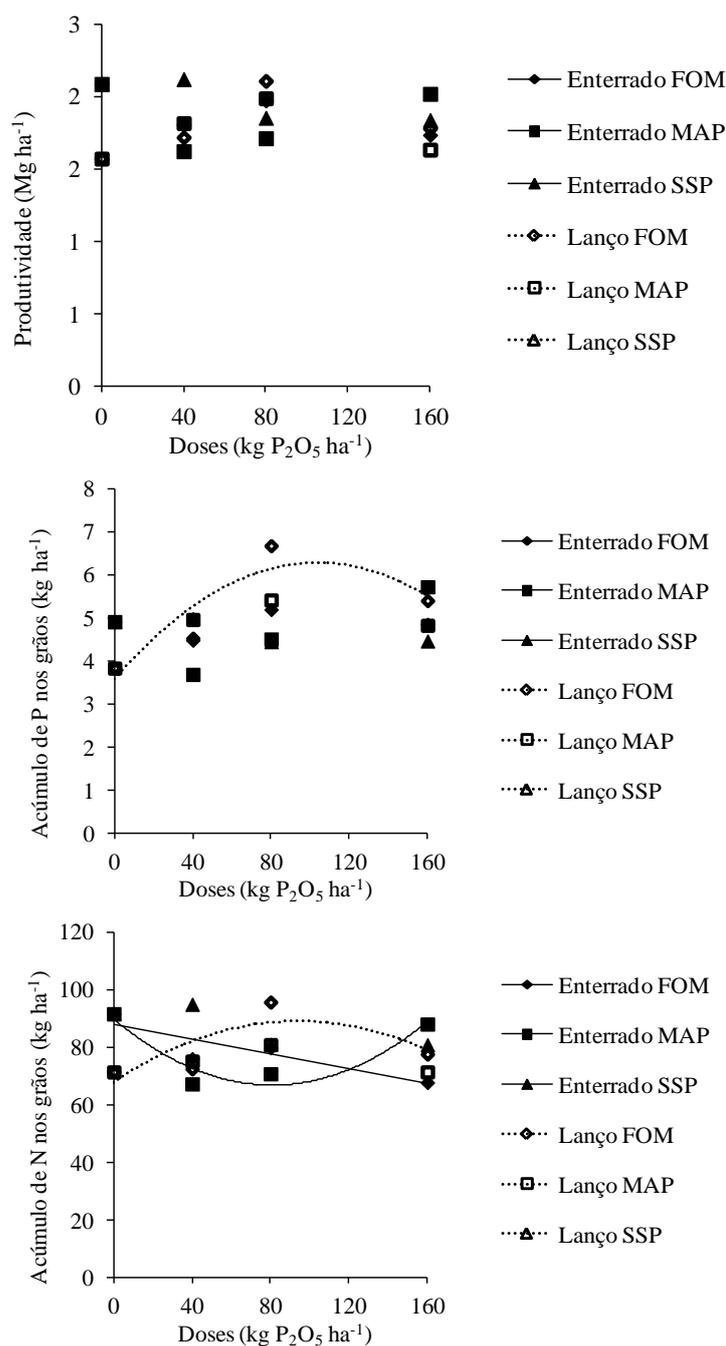
Em um experimento de longo prazo (17 anos), Nunes (2014) avaliou a adubação fosfatada enterrada no sulco de semeadura e aplicada a lanço em um Latossolo Vermelho muito argiloso sob o sistema de plantio direto (SPD) e convencional. As maiores produtividades para milho e soja foram obtidas na adubação a lanço no preparo convencional do solo e com adubação enterrada no sulco do plantio no SPD. Após a correção dos níveis de P no solo, não houve diferença das formas de adubação sobre as produtividade em ambos sistemas de manejo do solo (Nunes, 2014).

Fiorin et al. (2016), avaliando diferentes fontes aciduladas de P com aplicação a lanço e enterrada no sulco de semeadura, não observaram diferenças na produtividade da soja em um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, com baixo teor de P até 40 cm de profundidade.

As produtividades obtidas apresentaram valores bem abaixo da média nacional, da ordem de  $2,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  em 2016, e inferiores até mesmo à produtividade do estado da Bahia ( $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Conab, 2016). O valor da produtividade média de todos os tratamentos foi 14% inferior à média do estado na safra de 2015/16. Esta baixa produtividade apresentada no experimento por ser devido à ocorrência de sintomas associados ao ataque de nematoides e pela alta incidência de moscas brancas. Somado a isto, durante o cultivo da soja, houve baixa precipitação pluviométrica, com lâmina total acumulada de 351,6 mm, principalmente durante uma das fases mais críticas à limitação hídrica que compreende o período entre a floração e a maturação fisiológica (Carvalho et al., 2013), que ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2016 (Figura 5). A demanda hídrica da soja varia de 450 a 850 mm durante o seu desenvolvimento (Kuss, 2006). Este quadro pode ter mascarado os efeitos dos fatores sobre os parâmetros avaliados.

Quando as fontes minerais e o FOM foram comparados com a cama de frango, não houve diferença na produtividade e acúmulo de N nos grãos de soja. Diferenças foram observadas sobre o acúmulo de P nos grãos, o FOM foi superior às demais fontes, apresentou um acúmulo de  $6,67 \text{ kg P ha}^{-1}$ , a menor média foi observada com o uso da cama de frango com valor de  $3,72 \text{ kg P ha}^{-1}$  (Tabela 17).

O número de vagens por planta foi influenciado pela forma de adubação, com maior média na adubação a lanço. Já para o número de grãos por vagem foi observado efeito de tratamento apenas na adubação com o FOM onde a adubação localizada apresentou valor de 1,24, enquanto na adubação localizada este valor foi de 1,08. O efeito das fontes de P só foi pronunciado sobre o peso de 100 grãos com maior média observada no FOM a lanço e no SSP enterrado no sulco de semeadura. Neste parâmetro também foram observadas maiores médias na aplicação localizada dos fertilizantes (Tabela 18).



**Figura 12.** Produtividade, acúmulo de P e N nos grãos de soja, sob quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais.

**Tabela 17.** Produtividade e acúmulo de P e N nos grãos de soja, adubadas com fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	Produtividade Mg ha <sup>-1</sup>	Acúmulo de P kg P ha <sup>-1</sup>	Acúmulo de N kg N ha <sup>-1</sup>
FOM	2,10	6,67 a	95,67
MAP	1,98	5,42 ab	80,90
SSP	1,66	4,35 ab	71,27
Cama de frango	1,52	3,72 b	72,42

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Sob doses crescentes de P (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em um Latossolo Amarelo (181 g kg<sup>-1</sup> de argila) com alto teor inicial de P assimilável (97 mg dm<sup>-3</sup>) no município de Luis Eduardo Magalhães, BA, foram observadas respostas positivas para o número de vagens por plantas e peso de 1000 grãos, sem diferenças no número de grãos por vagem (Santos et al., 2015). Resultados semelhantes forma observados em soja cultivada em um Neossolo Quartzarênico (231 g kg<sup>-1</sup> de argila) adubado com doses crescentes de P (0 a 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), com baixo teor inicial de P assimilável (11 mg dm<sup>-3</sup>) no município de Luis Eduardo Magalhães, BA (Silva et al., 2015).

Em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (400 g kg<sup>-1</sup> de argila) com baixo teor inicial de P foi empregada adubação fosfatada a lanço e enterrada no sulco do plantio para o cultivo da soja. A adubação localizada promoveu maior número de vagens por planta, sem diferenças sobre a produtividade de grãos em detrimento às formas de aplicação do P (Bergamin, et al., 2008). A adubação com fertilizante organomineral proporcionou superioridade no número de vagens e produtividade de soja ao comparar com adubação mineral (Ambiel & Viana, 2012).

Quando as fontes minerais e o FOM foram comparados ao efeito da aplicação da cama de frango, não houve diferença nas médias em todos os componentes de produção avaliados (Tabela 19).

**Tabela 18.** Componentes de produção (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos) de soja, sob três doses de P de fertilizantes organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	Enterrado	A lanço	Média fonte
Número de vagens por planta			
FOM	99	115	107
MAP	97 B	119 A	108
SSP	101	100	100
Média manejo	99 B	112 A	
Número de grãos por vagem			
FOM	1,24 A	1,08 B	1,16
MAP	1,13	1,07	1,10
SSP	1,10	1,13	1,11
Média manejo	1,15	1,09	
Peso de 100 grãos (g)			
FOM	12,62 b	13,01 a	12,82
MAP	12,08 ab	12,82 ab	12,95
SSP	13,45 aA	12,24 bB	12,94
Média manejo	13,05 A	12,69 B	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 19.** Componentes de produção (vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos) de soja adubada com fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Peso de 100 grãos (g)
FOM	122	1,10	13,14
MAP	131	1,02	13,16
SSP	101	1,10	12,57
Cama de frango	121	1,10	12,42

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.5.5 Fósforo Assimilável no Solo

Na avaliação das médias, não houve efeito das fontes em todas as profundidades avaliadas para os teores de P assimilável no solo após o cultivo do milho. A influência deste fator foi observada somente na interação com a forma de adubação a lanço nas camadas superficiais. A maior média foi obtida na aplicação do MAP com valor de 54,8 e 49,4 g dm<sup>-3</sup> nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente. O FOM aplicado a lanço apresentou menor média de P assimilável na superfície, com valores 43,7 e 31,6 nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente (Tabela 20). Fertilizantes minerais acidulados permitem pronta disponibilização de P em detrimento aos FOM que apresentam liberação gradativa do nutriente (Kiehl, 2013).

A forma da adubação foi determinante nos teores de P assimilável em todas as profundidades, apresentando maiores valores na adubação a lanço (Tabela 20). O sistema de manejo empregado no solo da área experimental foi o plantio direto, o não revolvimento do solo favoreceu a ocorrência de maiores teores de P assimilável nas camadas superficiais do solo.

Os menores teores de P assimilável no solo quando os fertilizantes fosfatados foram aplicados no sulco do plantio pode ser devido à maior produtividade obtida neste tratamento. Os valores do P acumulado nos grãos foram superiores na adubação localizada, ainda que não tenha sido significativa (Tabela 14). Além disto, o P acumulado na biomassa das plantas aos 148 DAE foi superior na adubação localizada (Tabela 8), promovendo maior extração de P do solo, havendo menor quantidade de P residual no solo após a colheita do milho.

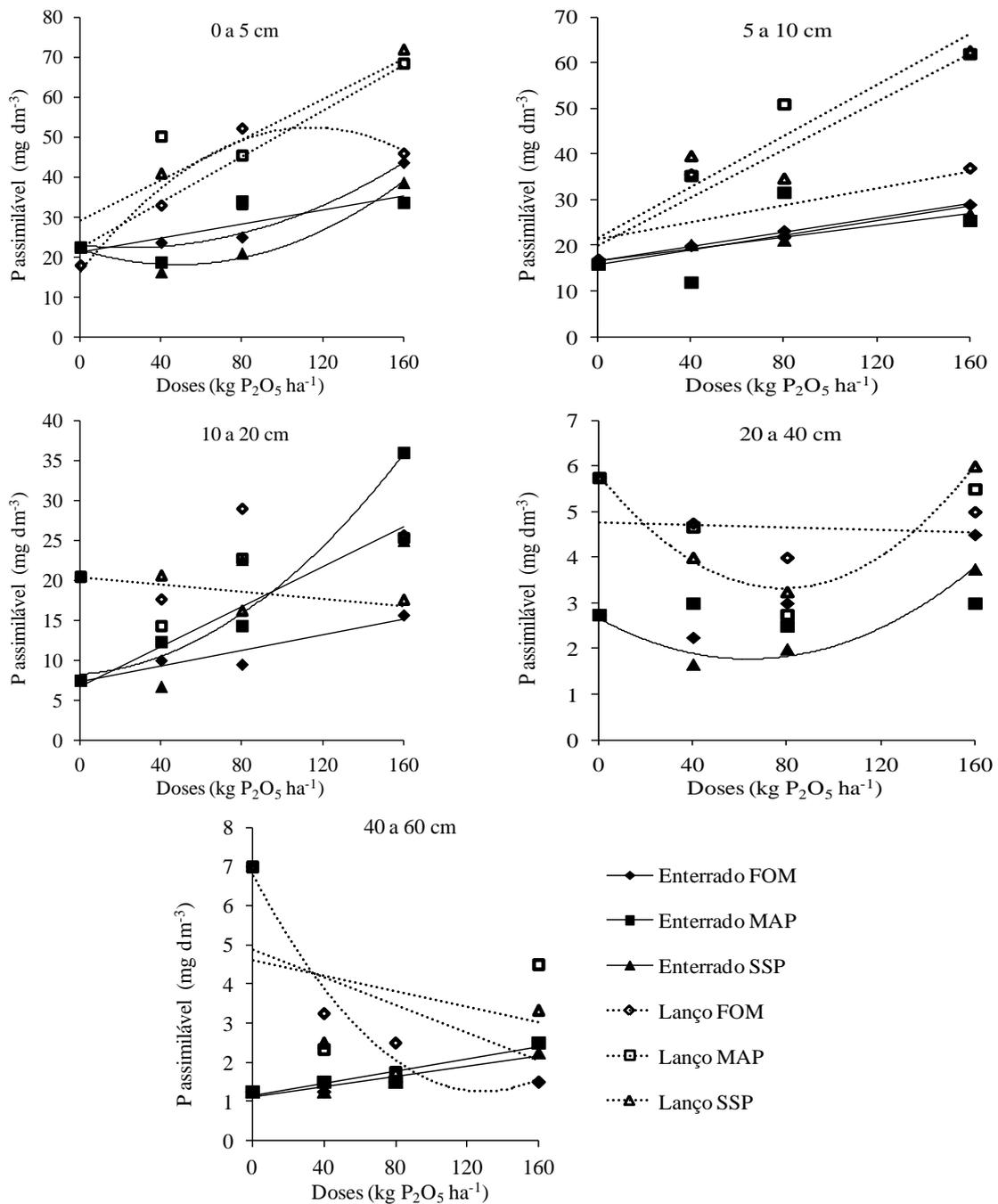
Santos et al. (2012) não observaram diferenças na produção de algodão em solo com textura média e fertilidade construída no oeste baiano. No entanto, não foram observadas diferenças nos conteúdos de P assimilável, após dois anos de cultivos fazendo-se o uso de fosfato de Arad e superfosfato triplo em doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0 a 240 kg ha<sup>-1</sup>) com adubação a lanço e enterrada no sulco do plantio. Neste trabalho os autores associaram as respostas experimentais ao baixo poder de adsorção do P quando em solos com fertilidade corrigida e baixo conteúdo de argila.

**Tabela 20.** P assimilável (Mehlich-1) no solo após o cultivo do milho, sob três doses de P de fertilizantes organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	P assimilável (mg dm <sup>-3</sup> )		
	Enterrado	A lanço	Média fonte
		0 - 5 cm	
FOM	30,8 B	43,7 Ab	37,2
MAP	28,8 B	54,8 Aa	41,8
SSP	25,3 B	48,7 Aab	37,0
Média aplicação	28,3 B	49,1 A	
		5 - 10 cm	
FOM	24,1	31,6 b	27,8
MAP	23,1 B	49,4 Aa	36,2
SSP	22,8 B	45,8 Aa	34,2
Média aplicação	23,3 B	42,2 A	
		10 - 20 cm	
FOM	11,8 Bb	24,2 A	17,9
MAP	20,8 a	20,8	20,8
SSP	18,2 ab	18,3	18,2
Média aplicação	16,9 B	21,1 A	
		20 - 40 cm	
FOM	3,3	4,6	3,9
MAP	2,8 B	4,3 A	3,6
SSP	2,5 B	4,4 A	3,5
Média aplicação	2,9 B	4,4 A	
		40 - 60 cm	
FOM	1,4 B	2,4 A	1,9
MAP	1,8 B	2,8 A	2,3
SSP	1,7	2,5	2,0
Média aplicação	1,6 B	2,6 A	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na análise de regressão, o aumento das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoveu incremento significativo dos teores de P assimilável no solo em todos os tratamentos nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm (Figura 13).



**Figura 13.** P assimilável (Mehlich-1) após o cultivo do milho, sob quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm.

Teores crescentes de P assimilável também foram observados na camada de 10 a 20 cm em todos os tratamentos, exceto para o FOM e MAP aplicados a lanço. Na profundidade de 20 a 40 cm houve ajuste quadrático das médias para o MAP aplicado a lanço e SSP nas duas formas de adubação. Na última profundidade amostrada, o MAP apresentou ajuste linear

para as duas formas de adubação, enquanto o ajuste do FOM aplicado a lanço foi quadrático (Figura 13).

Quando foi comparada a cama de frango com as demais fontes testadas, houve diferença nos teores de P assimilável apenas na camada superficial, com maiores médias nos tratamentos com adubação com o FOM e MAP (Tabela 21).

**Tabela 21.** P assimilável (Mehlich-1) no solo após o cultivo do milho adubado com fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	Teor de P assimilável (mg dm <sup>-3</sup> )				
	Profundidade (cm)				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
FOM	52,3 a	22,0	29,0	4,0	2,5
MAP	45,8 a	51,0	22,8	2,8	1,8
SSP	33,3 ab	24,5	16,3	3,3	1,8
Cama de frango	24,3 b	34,8	10,3	2,8	1,8

Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O FOM promoveu maiores valores de P assimilável nas camadas de 0 a 5, 20 a 40 e 40 a 60 cm, seguido do MAP e SSP (Tabela 22). Para as médias das formas de adubação, diferenças no P assimilável no solo ocorreram em todas as profundidades, exceto na última camada; as maiores médias foram observadas na adubação localizada (Tabela 22).

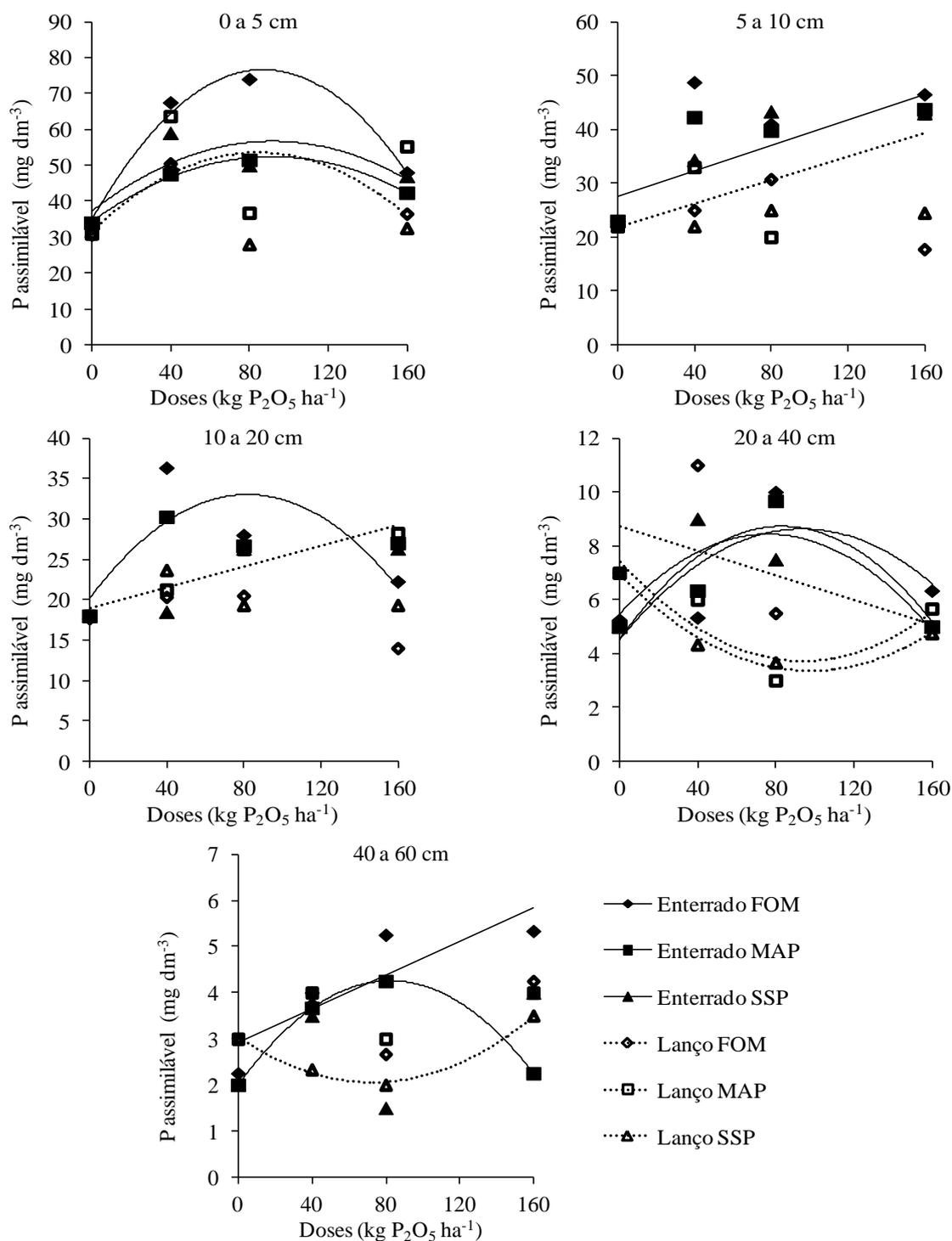
Houve redução nos teores de P assimilável da coleta realizada após o plantio do milho em relação àquela efetuada após o plantio da soja nos tratamentos com aplicação a lanço. A aplicação de calcário dolomítico na dose 700 kg ha<sup>-1</sup> no período da entressafra pode ter reagido com o P assimilável, formando fosfato de cálcio, que é insolúvel, principalmente nas parcelas com adubação a lanço que continham maiores teores de P disponível.

O aumento das doses da adubação fosfatada, quando comparadas à dose zero, apresentou resposta quadrática para todas as fontes aplicadas no sulco do plantio e para o FOM aplicado a lanço na camada de 0 a 5 cm (Figura 14).

**Tabela 22.** P assimilável (Mehlich-1) no solo após o cultivo da soja, sob três doses de P (40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de fertilizantes organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço); médias das três doses de P.

Fonte	P assimilável (mg dm <sup>-3</sup> )		
	Enterrado	A lanço	Média
	0 - 5 cm		
FOM	63,2 Aa	46,1 Bab	54,6 a
MAP	47,2 b	51,9 a	49,6 ab
SSP	52,0 Aab	36,9 Bb	44,4 b
Média aplicação	54,2 A	45 B	
	5 - 10 cm		
FOM	45,4 A	28,2 B	36,8
MAP	41,9	32,0	36,9
SSP	40,2 A	23,8 B	32,0
Média aplicação	42,5 A	28,0 B	
	10 - 20 cm		
FOM	28,8 A	18,2 B	23,5
MAP	28,0	25,2	26,6
SSP	23,75	20,8	22,2
Média aplicação	26,9 A	21,4 B	
	20 - 40 cm		
FOM	7,1	7,2 a	7,1 a
MAP	7,0	4,9 ab	5,9 a
SSP	7,25 A	4,3 Bb	5,8 a
Média aplicação	7,1 A	5,4 B	
	40 - 60 cm		
FOM	4,8 a	3,6	4,2 a
MAP	3,4 ab	3,6	3,5 ab
SSP	3,1 b	2,6	2,8 b
Média aplicação	3,7	3,27	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 14.** P assimilável (Mehlich-1) após o cultivo da soja, sob quatro doses de P (0, 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço). As curvas representam o modelo de primeiro ou de segundo grau ajustados aos dados experimentais nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm.

Na segunda camada apenas o SSP aplicado no sulco do plantio e o MAP a lanço propiciaram maiores teores de P assimilável no solo em relação à dose zero. Os ajustes de

todas as equações foram lineares (Figura 14). Na camada de 10 a 20 cm o FOM enterrado no sulco do plantio apresentou ajuste quadrático, enquanto o MAP a lanço linear. Na profundidade de 20 a 40 cm todos os tratamentos apresentaram ajuste quadrático, apenas o FOM a lanço que foi linear. Na última, houve efeito das doses de P no FOM e MAP aplicados de forma localizada e SSP a lanço (Figura 14).

Em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (470 g kg<sup>-1</sup> de argila), com fertilidade corrigida, não foram observadas diferenças nos teores de P assimilável na camada de 0 a 20 cm em solo cultivado por três anos, fazendo-se a rotação soja/milho, sem realizar adubação fosfatada. Nestas condições o fator capacidade, ou poder tampão do solo, foi capaz de manter o teor inicial de P assimilável (Carvalho et al., 2015).

Na comparação com o tratamento adicional de fertilização com a cama de frango, não houve diferença nas médias do P assimilável em todas as profundidades (Tabela 23).

**Tabela 23.** P assimilável (Mehlich-1) no solo após o cultivo da soja adubado com fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP), super fosfato simples (SSP) ou cama de frango, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com aplicação a lanço.

Fonte	P assimilável (mg dm <sup>-3</sup> )				
	Profundidade (cm)				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
FOM	51,2	30,8	20,5	5,5	2,8
MAP	36,8	20,0	26,3	3,0	3,0
SSP	28,0	25,0	19,3	3,7	2,0
Cama de frango	45,2	37,3	32,3	7,6	2,8

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.5.6 Fósforo Perdido por Erosão

Foi observada grande variação no volume de enxurrada durante o cultivo do milho. As maiores discrepâncias ocorreram na adubação a lanço, onde a adubação com MAP na dose de 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> apresentou o maior volume de enxurrada, 70,5 mil L ha<sup>-1</sup>, enquanto o menor volume foi de 30,1 mil L ha<sup>-1</sup> para o SSP aplicado na dose de 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, que representou uma redução de 57% (Tabela 24). Esta observação não era esperada visto que os tratamentos avaliados não apresentam características que interferem sobre o volume do escoamento superficial.

Do total da precipitação pluviométrica que ocorreu durante o experimento (536,8 mm), 13% do total deste volume foi escoado superficialmente. Os dados sugerem elevada taxa de infiltração do solo, característica conferida pelos altos conteúdos de areia presentes no solo. Apesar da elevada capacidade de infiltração de água no perfil, o solo da área experimental é classificado como solo frágil (Donagemma et al., 2016), onde há o predomínio de estrutura fraca, pequena granular, e que apresentam alta suscetibilidade à erosão devido à baixa coesão das partículas e da baixa estabilidade de agregados (Scopel et al., 2012).

Silva et al. (2005) encontraram valores superiores, com 28,67% e 8,78% de escoamento superficial em relação ao total precipitado, para um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (364 g kg<sup>-1</sup> de argila) e um Latossolo Vermelho distroférico típico (617 g kg<sup>-1</sup> de argila), respectivamente.

As perdas de ortofosfato não foram crescentes em função do aumento da dose de P aplicada. Na média das doses, as maiores perdas ocorreram na adubação com o MAP com perda de 77,1 e 103,1 g ha<sup>-1</sup> para a adubação localizada e a lanço, respectivamente (Tabela 24).

A forma da adubação foi determinante para a dinâmica da perda de P por erosão, a aplicação a lanço dos fertilizantes acarretou os maiores valores em todas as fontes, na média das doses (Tabela 24). O sistema de manejo do solo empregado na área experimental é o plantio direto onde o não revolvimento do solo favorece concentrações mais elevadas do nutriente na camada superficial do solo. Geralmente, sistemas conservacionistas apresentam concentrações de nutrientes na água da enxurrada semelhantes ou superiores do que àqueles observados em manejo convencionais (Schick et al., 2000), devido ao arraste da camada de solo mais ricas em nutrientes. O enterrio dos adubos aplicados permite que os nutrientes menos propensos à remoção pela enxurrada (Bertol et al., 2004)

Nos tratamentos testemunhas, as perdas de P foram de 65,3 e 40,9 g P ha<sup>-1</sup> para adubação do K localizada e a lanço, respectivamente. Estes valores são semelhantes àqueles observados na dose de 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> na média das doses, vale ressaltar que o solo já apresentava fertilidade corrigida anteriormente à montagem do experimento. As maiores quantidades de ortofosfato perdido por erosão ocorreram na adubação com o MAP, com valor de 77,1 e 103,1 g ha<sup>-1</sup> para a adubação localizada e a lanço, respectivamente. A maior solubilidade do MAP pode ter favorecido maiores teores do P reativo solúvel na água da enxurrada (Tabela 24).

Houve grande variação nos valores apresentados para as perdas de solo. A maior média foi observada no SSP na adubação localizada com dose 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, perfazendo o valor de 308,6 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto a menor média foi de 29,8 kg ha<sup>-1</sup>, observada no FOM na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado a lanço (Tabela 24). Eram esperadas maiores perdas de solo quando o adubo foi enterrado no sulco do plantio, já que houve perturbação da camada superficial do solo para a aplicação dos fertilizantes, porém, esta tendência não foi observada. Valores semelhantes foram observados em um Cambissolo húmico com semeadura com cultivo de feijão, ervilhaca, milho e aveia em sucessão, que apresentou média de 180 kg ha<sup>-1</sup> de solo perdido por erosão (Bertol et al., 2004).

Os maiores volumes de enxurrada não foram associados às maiores perdas de P na água do escoamento superficial e solo (Tabela 24). Estes resultados não corroboram com diversos trabalhos publicados, onde foi observada correlação destes parâmetros. Pote et al. (1996) observaram que doses crescentes de P aplicado no solo correlacionaram-se linear e positivamente com os aumentos nas concentrações na água da enxurrada, com consequente aumento da perda total do nutriente por erosão hídrica.

No cultivo da soja, a água perdida por erosão apresentou médias que variaram entre 22,7 a 78 mil L ha<sup>-1</sup> para o FOM enterrado na dose de 80 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> com adubação localizada e para 40 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> de SSP aplicado a lanço (Tabela 25).

O ortofosfato perdido por erosão variou de 37,1 a 500,9 g ha<sup>-1</sup> na adubação com o FOM na dose de 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e MAP na dose de 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ambos os fertilizantes aplicados a lanço. Esta forma de adubação apresentou maiores valores, na média das doses, em todas as fontes avaliadas. As maiores médias de ortofosfato foram observadas no solo adubado com o MAP (Tabela 25), semelhantemente ao observado no cultivo do milho (Tabela 24).

Tabbara (2003) constatou que a incorporação de fertilizantes fosfatados reduziu os teores e as perdas totais de ortofosfato quando avaliou a aplicação a lanço com ou sem incorporação de dejetos de suíno e polifosfato de amônio líquido. O autor recomenda

incorporação dos fertilizantes principalmente em locais com intensas precipitações pluviométricas e em solos com pouca ou nenhuma cobertura.

**Tabela 24.** Volume escoado (mil L ha<sup>-1</sup>), ortofosfato (g ha<sup>-1</sup>) e solo (kg ha<sup>-1</sup>) perdido por erosão em solo cultivado com milho, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço) ou cama de frango aplicada a lanço.

Fonte	Dose (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Volume escoado (mil L ha <sup>-1</sup> )		Ortofosfato (g ha <sup>-1</sup> )		Solo (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Enterrado	Lanço	Enterrado	Lanço	Enterrado	Lanço
Controle	0	53,0	45,5	80,2	126,7	1346,7	283,9
	40	43,9	55,0	37,1	222,3	941,8	826,4
FOM	80	22,7	63,6	159,0	310,5	108,6	571,3
	160	57,9	59,2	69,1	187,8	563,6	957,1
Média doses		41,5	59,3	88,4	240,2	538,0	784,9
Desvio padrão		17,8	4,3	63,2	63,3	417,2	196,2
MAP	40	49,8	50,0	95,6	119,0	391,0	842,6
	80	51,6	27,9	150,1	500,9	379,3	267,6
MAP	160	68,6	69,9	40,4	250,0	1093,1	1301,1
	Média doses		56,6	49,3	95,4	290,0	621,1
Desvio padrão		10,4	21,0	54,9	194,0	408,8	517,9
SSP	40	46,6	78,0	87,0	131,7	1064,6	593,0
	80	50,0	46,9	56,5	216,7	1089,5	651,8
SSP	160	44,7	45,7	62,8	57,1	774,8	716,1
	Média doses		47,1	56,9	68,8	135,2	976,3
Desvio padrão		2,7	18,3	16,1	79,9	174,9	61,6
Cama	80		49,3		133,2		397,2

A incorporação de esterco de gado de leite promoveu a redução das concentrações de P reativo quando comparada a aplicação a lanço, no entanto, houve aumento nos teores de P total e massa de P total perdidos na enxurrada (Bundy et al., 2001). Allen & Mallarino, 2008 avaliaram o efeito da aplicação a lanço de dejetos de suíno com ou sem incorporação em uma área cultivada com milho e soja em rotação, adubada com doses crescentes de P, observando que no tratamento com dejetos não incorporados houve aumento dos teores e cargas totais de P reativo solúvel e P total após a aplicação de chuva simulada.

O uso de fertilizantes em sucessivos cultivos promove o aumento nos teores de nutrientes na camada superficial do solo (Cassol et al., 2002), principalmente em SPD onde não há incorporação dos fertilizantes ao solo (Hernani et al., 1999), que aumenta o potencial de perda por erosão (Kimmel et al., 2001). O potencial de perdas de P está em função da fonte do nutriente (Kleinman et al., 2002), da intensidade da chuva e do tempo entre a aplicação do fertilizante e a precipitação (Shigaki et al., 2007) e da forma de aplicação (Gebler et al., 2011). As trocas de P com a água da enxurrada ocorrem envolvendo uma camada de até 2,5 cm de solo, independentemente da concentração de P nas demais profundidades do perfil

(Pote et al., 1999; Sharpley et al., 1994). Hansen (2002) sugere que esta profundidade pode variar de 1 a 5 cm de profundidade.

**Tabela 25.** Volume escoado (mil L ha<sup>-1</sup>), ortofosfato (g ha<sup>-1</sup>) e solo (kg ha<sup>-1</sup>) perdidos por erosão em solo cultivado com soja, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço) ou cama de frango aplicada a lanço.

Fonte	Dose (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Volume escoado (mil L ha <sup>-1</sup> )		Ortofosfato (g ha <sup>-1</sup> )		Solo (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Enterrado	Lanço	Enterrado	Lanço	Enterrado	Lanço
Controle	0	52,2	58,5	65,3	40,9	279,1	98,5
	40	55,3	65,2	48,3	122,8	35,0	254,3
FOM	80	51,1	27,0	71,0	70,9	43,9	29,8
	160	56,4	53,1	62,5	33,0	65,0	57,1
Média doses		54,3	48,4	60,6	75,6	48,0	113,7
Desvio padrão		2,8	19,5	11,5	45,0	15,4	122,5
MAP	40	76,3	34,1	62,2	149,2	54,9	124,3
	80	41,5	43,9	75,7	121,9	131,2	190,7
MAP	160	54,2	70,5	93,4	38,4	90,2	164,2
	Média doses		57,3	49,5	77,1	103,1	92,1
Desvio padrão		17,6	18,8	15,7	57,7	38,2	33,4
SSP	40	65,8	30,1	35,6	35,6	308,6	97,4
	80	67,9	58,5	56,5	78,8	97,0	83,3
SSP	160	65,5	46,4	45,1	42,6	126,7	164,8
	Média doses		66,4	45,0	45,7	52,4	177,4
Desvio padrão		1,3	14,3	10,5	23,2	114,6	43,5
Cama	80		64,5		24,9		58,3

As perdas de P em ambos os cultivos são pequenas se comparadas às doses aplicadas, no entanto, a concentração do nutriente para desencadear o processo de eutrofização nos corpos hídricos é de apenas 25 µg L<sup>-1</sup> (Haygarth & Jarvis, 1999; Hart et al., 2004). Os altos teores de P na camada superficial do solo, sobretudo em solos com menor capacidade de retenção de P, podem ocasionar a saturação dos sítios de adsorção (Sharpley, 1995), que aumentaria os riscos de potencial poluidor dos corpos hídricos (McDowell et al., 2001). Se o P fica adsorvido aos colóides do solo, este é passível de perdas através do arraste de sedimentos (Sharpley, 1980).

Os valores observados para a perda de solo variam de 283,9 a 1346,7 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento controle com aplicação no sulco de semeadura e a lanço, respectivamente (Tabela 42). As maiores concentrações de P na água da enxurrada ocorreram no primeiro evento chuvoso após o plantio do milho e da soja. Estas perdas ocorreram no tratamento controle quando o K foi enterrado no sulco do plantio (103 mg L<sup>-1</sup>) no cultivo do milho e na adubação com o MAP aplicado a lanço na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (37,18 mg L<sup>-1</sup>) para o cultivo da soja; as lâminas para cada evento foram 7,6 e 24,2 mm, respectivamente. O primeiro evento chuvoso é considerado importante nas perdas de P pela enxurrada, uma vez que o processo de

adsorção ocorre de forma gradativa. Associado a isto, o índice de cobertura do solo é baixo no início do desenvolvimento da cultura; fatores que contribuem para as perdas de P por erosão.

A grande variação dos dados apresentados nos cultivos do milho e da soja era esperada devido às diferenças de cobertura do solo proporcionado pelo dossel do estande de plantas e distribuição irregular da palhada no sistema de plantio direto observadas no campo, principalmente na soja onde houve muita falha devido à morte de plantas provocadas pela incidência de nematóides. Outro fator que pode ter contribuído são as diferenças encontradas na rugosidade do solo e pela possibilidade de distribuição irregular da chuva na área experimental. Esses resultados sugerem que é provável que haja necessidade de avaliação por um maior período de tempo para representar melhor as perdas de P por erosão, dada à alta variabilidade das perdas de solo e volume de enxurrada observados, visto que esse processo não é uniforme, varia entre tratamentos, no tempo e no espaço (Gleber et al., 2011).

Nas condições experimentais, a aplicação a lanço dos fertilizantes promoveu maiores perdas de ortofosfato. As perdas de P por erosão apresentaram pequenos valores, no entanto, isto pode representar elevadas quantidades de fertilizantes adicionados ao solo para manter elevados níveis de produtividade. Ainda que os prejuízos econômicos sejam modestos, estas pequenas perdas de P podem representar grandes prejuízos ambientais por contribuírem com a degradação dos ecossistemas aquáticos (Haygarth & Jarvis, 1999).

#### 4.6. CONCLUSÕES

A adubação localizada dos fertilizantes fosfatados promoveu maior produção de grãos, acúmulo de fitomassa e de P na parte aérea do milho.

As fontes avaliadas não apresentaram diferenças significativas para a produtividade de grãos, acúmulo de biomassa e P na parte aérea do milho.

O fertilizante monoamônio fosfato proporcionou maior acúmulo de P nos grãos de milho.

Não houve efeito significativo de fontes, doses e formas de aplicação sobre a produtividade de grãos, acúmulos de P e N nos grãos e acúmulo de fitomassa na soja.

A adubação a lanço promoveu maiores teores de P assimilável no solo após o cultivo do milho, enquanto após o cultivo da soja, a adubação localizada conferiu maiores teores.

A adubação a lanço promoveu maiores perdas de P por erosão.

O desempenho do fertilizante organomineral indica bom potencial de uso da cama de frango como fertilizante, em formulações organominerais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de manejo da adubação a lanço apresentou resultados promissores para seu uso, o que acarretaria ao produtor rural menor utilização de combustível fóssil por exigir menor tração do trator em relação ao enterrio dos fertilizantes. A escolha da forma da adubação deve ser como referência a viabilidade técnica e econômica. No entanto, deve-se atentar a situação topográfica do local de plantio para que a economia gerada com a prática agrícola não venha culminar em perdas ambientais devido à maior exposição do fertilizante à perda por erosão já que esta forma de adubação representou em maiores perdas de P por erosão.

As doses de P para o milho e a soja podem ser recomendadas com referência na quantidade exportada pelas culturas, já que não houve resposta à dose para os fatores avaliados. Análises de fertilidade devem ser realizadas de forma rotineira para que não haja redução nos teores de P assimilável no solo. Estas recomendações se atêm aos solos com fertilidade construída sob o sistema de semeadura direta e sob as condições pedológicas da região oeste da Bahia. São sugeridos outros estudos com doses mais elevadas de P e por maior período de tempo para avaliar o efeito residual do FOM sobre a disponibilidade de P às culturas em ambas as formas de adubação.

Os dados apresentados sugerem a possibilidade de uso do FOM granulado a partir de cama de frango para agricultura de grande escala com ganhos agronômicos. O FOM apresenta menor custo em relação ao MAP. O custo do FOM (23%  $P_2O_5$ ) foi estimado em R\$ 3,55, enquanto o MAP apresenta o preço de venda de R\$3,72 por kg de  $P_2O_5$ . Os custos de produção do FOM calculados por pesquisadores da Embrapa Solos (dados não publicados) e o preço do MAP (45%  $P_2O_5$ ) (R\$1675,00) foi àquele praticado pela Galvani Fertilizantes em Luis Eduardo Magalhães, BA (informação pessoal).

Além disto, a região possui algumas granjas de produção de carne de frango onde grande parte da cama tem sido utilizada em cultivos de café (informação obtida na Mauricea Alimentos S/A), porém, apresenta grande potencial para expansão da atividade avícola já que representa um dos mais importantes polos de produção de grãos, base da alimentação das aves. Portanto, a produção e uso do FOM na região oeste da Bahia podem ser viáveis nos âmbitos agronômicos, econômicos e ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, B.; MALLARINO, A.P. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. **Journal Environmental Quality**, v. 37, p. 125-137, 2008.
- ALVAREZ, V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG, SBCS/UFV/DPS, p.615-646, 1996.
- ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; FRANCA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 299-305, 1999.
- AMBIEL, J.C.; VIANA, O.H. Variações na produção da cultura da soja em relação à adubação mineral e organomineral. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 1, p. 146-157, 2012.
- AMOACY, F. C. **Plantio direto: adubação na superfície ou incorporada?** 2006. Disponível em: <[www.plantiodireto.com.br/?body=cont\\_int&id=419](http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=419)>. Acesso em: junho de 2017.
- ANDA - Associação nacional para difusão de adubos. (2014). [www.anda.org.br](http://www.anda.org.br). Acesso em novembro de 2015, disponível em <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, v. 22, p.685-688, 1980.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. 2 ed. New York. John Wiley & Sons, 1995. 414 p.
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; GONZALES, A. P. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill. **Soil and Tillage Research**, n. 106. p. 22 – 28. 2009.
- BERGAMIN, A.C.; SCHILINDWEIN, J.A.; VENTUROSU, R.L.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D. Respostas de cultivares de soja à adubação a lanço e em sulco, no município de Rolim Moura/RO. **Revista Ciências Agrárias**, n. 50, p. 155-166, 2008.
- BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1045-1054, 2004.
- BERTOL, I.; ENGEL, F.L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J.; RITER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under diferentes soil tillage systems during soybean growth. **Soil and Tillage Research**, v. 94, p. 142-150, 2007.
- 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. In: XXIX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZA, 13. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11. REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8,

2010, Guarapari. **Anais...** Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro. Viçosa: SBCS.

BHATTACHARYYA, R.; KUNDU, S.; VED PRAKASH; GUPTA, H.S. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean–wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 01, p. 33-46, 2008.

BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p. 225-252, 1973.

BRAGGS, B.; FORNASIERO, D.; RALSTON, J.; SMART, R.S.T. The effect of surface modification by an organosilane on the electrochemical properties of kaolinite. **Clays Clay Minerals**, v. 43, p. 123-136, 1994.

BREVILIERI, R.C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. 2012. 43 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS.

BROCH, D. L.; CHUEIRI, W. A. **Estratégia de adubação cultura da soja cultivada sob sistema de plantio direto**. 2006. Disponível em: <[www.manah.com.br/publicacoes/estrategias\\_abudacao.pdf](http://www.manah.com.br/publicacoes/estrategias_abudacao.pdf)>. Acesso em: junho de 2017.

BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W.; POWELL, J.M.. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. **Journal Environmental Quality**, v. 30, p. 1822–1828, 2001.

CAIONE, G.; TEIXEIRA, M. T. R.; LANGE, A.; SILVA, A. F.; FERNANDES, F. M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.9, n.1, p.12-22, 2011.

CARMO, D.L.; TAKAHASHI, H.Y.U.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffe Science**, v. 9, n. 2, p. 196-206, 2014.

CARVALHO, I.R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A.D.; ROSA, G.M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 969-985, 2013.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M.P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 705-712, 2002.

CASTRO, K.B.; MARTINS, E.S.; REATTO, A.; LOPES, C.A.; PASSO, D.P.; LIMA, L.A.S.; CARDOSO, W.S.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T. **Caracterização geomorfológica do município de Luis Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, escala 1:100000**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados, nº 288. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010, 32 p.

CERETTA, C. A; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p. 111-120.

CHICONATO, D. A.; SIMONI, F.; GALBIATTI, J. A.; FRANCO, C. F.; CAMELO. Resposta da alfaca a aplicação de biofertilizante sob dois níveis de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 392-399, 2013.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; TU, S.; SNYDER, C.S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.89, n.2 p. 229–255, 2011.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERMANI, L.C. (2006) **Nutrição e adubação do milho**. 2006. Disponível em:

<[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2ed/fera\\_duba.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/fera_duba.htm)>. Acessado em: 02 de setembro de 2015.

COIMBRA, K. G.; PEIXOTO, J. R.; SANTINI, M. R.; NUNES, M. S. Efeito de produtos alternativos no desempenho agrônomico de tomate rasteiro. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 1, p. 1508-1513, 2013.

COLLIER, L.,S.; CORREIA, M.A.R.; RAMOS, L.N.; PRADO, R.M.; FLORES, R.A. Adubação fosfatada em sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins. **Revista Ceres**, v. 55, n. 2, p. 109-116, 2008.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos. Terceiro levantamento**, v. 4, n. 3, 2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_12\\_22\\_12\\_08\\_27\\_boletim\\_graos\\_d\\_ezembro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_22_12_08_27_boletim_graos_d_ezembro_2016.pdf). Acesso em: junho de 2017.

CORDELL D, DRANGERT JO, WHITE S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v. 19, p. 292–305, 2009.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, n. 130, p. 1-11, 2010.

DALAL, R. C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, v 29, p. 83-117, 1977.

DAVIDSON, E.A.; HOWARTH, R.W. Nutrients in synergy. **Nature**, v. 449, p.1000-1001, 2007.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G., VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solo**, 2ª ed., Documentos 132, 2011. 230 p.

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.; BALIEIRO, F.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.M.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P.C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Corn growth and changes of soil and root parameters as affected by phosphate fertilizers and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1309-1314, 1991.

FAGERIA, N.K.; SLATON, N.A.; BALIGAR, V.C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 80, p. 63-152, 2003.

FAVATERRO, N.; SILVEIRA, F.M.; TIMOFIECSYK, A.; DIECKNOW, J.; PAULETTI, V. Water, soil and phosphorus loss of cattle slurry application to Oxisols under no-tillage and natural rainfall. World Congress of Soil Science, Soil Solution for a Changing World, 19<sup>th</sup>, 2010, Brisbane, Austrália. **Annals...DVD**, 2010.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L.C.D.; OLIVEIRA, C.B. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 159-166, 2007.

FERNANDES, D.M.; GROHSCOPF, 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**, v. Edição Especial 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 14-27, 2015.

FERREIRA, D. F. **Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

FERREIRA, N.R. **Eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluidos em relação à disponibilidade de fósforo**. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo.

FIORIN, J.E.; VOGEL, P.T.; BORTOLOTTI, R.P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 2, p. 92-97, 2016.

FIXEN, P. E.; LUDWICK, A. E. Residual available phosphorus in nearneutral and alkaline soils: I. Solubility and capacity relationships. **Soil Science Society of American Journal**, v 46, p. 332-334, 1982.

FREITAS, P.L.; POLIDORO, J.C.; SANTOS, H.G.; PRADO, R.B.; CALDERANO, S.B.; MANZATTO, C.V.; DOWICH, I.; BERNARDI, A.C.C. Identificação e caracterização físico-química de Latossolos de textura arenosa e média da região oeste da Bahia. **Caderno de Geociências**, v. 11, n. 1-2, p. 83-93, 2014.

FURLANI, P. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, W. J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, v. 36, n. 22, p. 223 - 229, 1977.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; RESENDE, A.V.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Lavras, ESAL/FAEPE, 1991, 252p.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Tese (Doutorado em Agronomia – Biodinâmica dos Solos), 2003. 231 p. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1085-1091, 2008.

GLEBER, L.; BERTOL, I.; GOBBI, E.; LOUZADA, J.A.S. Comportamento do arraste superficial do fósforo reativo por enxurrada sob diferentes coberturas vegetais na cultura da maçã em regime de chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 101-110, 2011.

GUADAGNIN, J.C. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), 2003. 142 f. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

HANSEL, F.D.; AMADO, T.J.C.; BORTOLOTTI, R.P.; TRINDADE, B.S.; HANSEL, D.S.S. Influence of different phosphorus sources on fertilization efficiency. **Applied Research & Agrotechnology**, v.7, n. 1, p. 103-111, 2014.

HANSEN, N. C.; DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; LEMUNYON, J. L. The fate of phosphorus in agricultural systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, n. 6, p. 408-417, 2002.

HART, M.R.; QUIN, B.F.; NGUYEN, M.L. Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: a review. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p.1954-1972, 2004.

HAYGART, P.M.; JARVIS, S.C. Transfer of phosphorus from agricultural soils. **Advances in Agronomy**, v.66, p.195–249, 1999.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M.. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE**, Estatística da Produção Pecuária, 2016. 76 p. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/aba-te-leite-couro-ovos\\_201504\\_publ\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/aba-te-leite-couro-ovos_201504_publ_completa.pdf)>. Acesso em: 24 de junho de 2016.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advances in Agronomy**, v. 56, p. 457-461, 1996.

JONES, D.L.; DENNIS, P.G.; OWEN, A.G. & VAN HEES, P.A.W. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. **Plant & Soil**, v. 248, p. 31–41, 2003.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 2. ed. Piracicaba: Agronômica CERES, Degaspari, 2013. 148 p.

KIMMELL, R.J.; PIERZYNSKI, G.M.; JANSSEN, K.A.; BARNES, P.L. Effects of tillage and phosphorus placement on phosphorus runoff losses in a grain sorghum–soybean rotation. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, p. 1324-1330, 2001.

KLEINMAN, P.J.A.; SHARPLEY, A.N.; MOYER, B.G.; ELWINGER, G.F. Effect of mineral and manure phosphorus sources on runoff phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v.32, p. 2026- 2033, 2002.

KOCHIAN, L.V. Rooting for more phosphorus. **Nature**, v. 488, p. 466–467, 2012.

KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. **Adubação antecipada no Sistema Plantio Direto**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 45 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 108).

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja. 2006. 80 f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

LACERDA, J.J.J.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; HICKIMANN, 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.; SCHULZ, L.R.; KAEFER, E.; HARTMANN-SCHMIDT, M.A.; RUPPENTHAL, V. Disponibilidade de fósforo para plantas de milho cultivadas com fertilizante organomineral e fosfato monoamônico. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 3, p. 198-209, 2014.

LEE, Y. S.; R. J. BARTLETT. Stimulation of plant growth by humic substances. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, n. 6, p. 876-879. 1976.

LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo**. Piracicaba, POTAFÓS, 1983. 162p.

LIU, M.; HU, F.; CHEN, X.; HUANG, Q.; JIAO, J.; ZHANG, B.; LI, H.. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 2, p. 166-175, 2009.

LUMBRERAS, J.F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; BARROS, A.H.C.; AGLIO, M.L.D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H.L.F. da; QUARTAROLI, C.F.; ALMEIDA, R.E.M. de; FREITAS, P.L. de. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48p. il. color. (Embrapa Solos. Documentos, 179).

- MACHADO, R.P.; NOVAIS, R.F.; SEDIYAMA, C.S. & BORGES, A.C. Efeito da localização de doses de fósforo, em relação ao sistema radicular, sobre o comportamento de soja, com a utilização da técnica de raízes subdivididas. **Revista Ceres**, v. 30, p. 295-307, 1983.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: FERRIN, M. G. Ed.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985, 431 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.563-570, 2007.
- MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.3, p.271-279, 2014.
- MCDOWELL, R.W.; SHARPLEY, A. N; CONDRON, L. M.; HAYGARTH, P. M.; BROOKES, P. C. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p. 269-284, 2001.
- MITRA, S.; BHARDWAJ. S.N.; SRIVASTAVA, G.C. Source and sink relationship. In: ABROL, Y.P.; MOHANTY, P.; GOVINDJEE (eds). *Photosynthesis: photoreactions and plant productivity*. **Dordrecht: Kluwer Academic Press**, 1993. p. 361-387.
- MORAIS, F.A.; GATIBONI, L.C. Phosphorus availability and microbial immobilization in a Nitosol with the application of mineral and organo-mineral fertilizers. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 87, n. 4, p. 2289-2299, 2015.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analítica Chimica Acta**, v.27. p.31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F.de; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.
- NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto à fonte de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 749-754, 1985.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999, 399 p.
- NUNES, R.S. **Eficiência de uso de fósforo em sistemas de manejo do solo e adubação fosfatada por um longo período**. 2014. 170 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.
- OJI, Y., Y. RYOMA, N. WARKIUCHI Y S. OKAMOTO. Effect of inorganic orthophosphate on in vitro activity of NADH nitrate reductase isolated from 2-row barley leaves. **Plant Physiology**, v. 83, p. 472-474, 1987.
- PARENT, L. E.; KHIARI, L. & PELLERIN, A. The P fertilization of potato: Increasing agronomic efficiency and decreasing environmental risk. **Acta Horticulturae**, v. 627, p. 35-41, 2003.
- PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, v 30, p. 01-46, 1978.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1779-1784, 2004.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

POTE, D.H.; DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.M. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 855-859, 1996.

POTE, H. D. DANIEL, T. C. Analyzing for dissolved reactive phosphorus in water samples. In: G. M. PIERZYNSKI. **Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and water**. p. 31-34. 2000. Disponível em: [www.seral7.ext.vt.edu](http://www.seral7.ext.vt.edu)

POTE, D. H; DANIEL, T.C.; NICHOLS, D.J.; MOORE Jr, P.A.; MILLER, D.M.; EDWARDS, D.R. Relationship between phosphorus levels in three ultisols and phosphorous concentrations in runoff. **Journal Environmental Quality**, n. 28, p. 170-5, 1999.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 83-90, 2001.

PYPERS, P., VERSTRAETE, S., THI, C. P. AND MERCKX, R. Changes in mineral nitrogen, phosphorus availability and salt-extractable aluminium following the application of green manure residues in two weathered soils of South Vietnam. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 163-172. 2005.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPACNP, 1995. 65p.

ROBINSON, D. Variation, co-ordination and compensation in root systems in relation to soil variability. **Plant & Soil**, v.187, n. 1, p. 57-66, 1996.

RODRIGUES, P.N.F.; ROLIM, M.M.; BEZERRA NETO, E.; COSTA, R.N.T.; PEDROSA, E.M.R.; OLIVEIRA, V.S. Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 788-793, 2011.

ROSA, P.A.L. **Acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes por híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense***. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo.

ROSOLEM, C.A.; ASSIS, J.S.; SANTIAGO, A.D. Root growth and mineral nutrition of corn hybrids as affected by phosphorus and lime. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25 p. 2491-2499, 1994.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da cólera da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 201-222.

SANTOS, A.C.M.; CARNEIRO, J.S.S.; LEITE, R.C.; SOUZA, M.A.S.; FREITAS, G.A.; SILVA, R.R. Adubação fosfatada com fertilizante Basiduo na cultura da soja o oeste da Bahia. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 2, n. 3, p. 82-90, 2015.

SANTOS, D.H.; SILVA, M.A.; TIRITAN, C.S.; FOLONI, J.S.S.; ECHER, F.R. Qualidade tecnológica de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato

solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; NOVAIS, R.F.; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S.; SILVA FILHO, J.L. Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo para o algodoeiro. **Revista Ceres**, v. 54, n. 4, p. 537543, 2012.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (3<sup>o</sup>ed.) Rio de Janeiro. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 2013.

SCHJORRING, J.K. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at sufficient or insufficient level of phosphorus in nutrient solutions. **Plant & Soil**, v. 91, p. 313-318, 1986.

SCHNEIDER, V.E.; PERESIN, D.; TRENTIN, A.C.; BORTOLIN, T.A.; SAMBUICHI, R.H.R. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas: relatório de pesquisa**. Brasília: Ipea, 2012. 129p.

SCIVITTARO, W.B.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 505-511, 1997.

SCOPEL, I.; SUERTEGARAY, D.M.A.; SOUZA, M.S.; PEIXINHO, D.M.; FERREIRA D.M. Neossolos Quartzarênicos órticos das áreas de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: características físicas e morfológicas. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L.A. (Org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012. p. 489-528.

SHARPLEY, A. N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C.; REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options. **Journal of Environmental Quality**, v. 23, n. 3, p. 437-51, 1994.

SHARPLEY, A. N. The enrichment of soil phosphorus in runoff sediments. **Journal of Environmental Quality**, v.9, p.521-526, 1980.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L.I. Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays. **Science Total Environmental**, v. 67, n.1, p. 334-343, 2007.

SHUMAN, L.M. Mineral Nutrition. In: WILKINSON, R.E. (ed.). **Plant-environment interactions**, p. 149-182, 1994.

SILVA, A.A.; COSTA, A.M.; LANA, R.M.Q.; LANA, A.M. Recycling of nutrients with application of organic waste in degraded pasture. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 405-414, 2012.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2015.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A. S.; BULL, L. T.; MANNIGEL, A. R.; MARCHETTI, M. E.; NOLLA, A. Manejo da adubação com sulfato de amônio no desempenho produtivo do milho cultivado após aveia e trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p.577-588, 2014. .

SIMS, J.T.; SIMARD, R.R.; JOERN, B.C. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. **Journal Environmental Quality**, v. 27, p. 277-293, 1998.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

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, 2004. p. 147-168.

STRYKER, R.B.; GILLIAN, J.W.; JACKSON, W.A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. **Physiologia Plantarum**, v. 30, p. 231-239, 1974.

STROM, L.; OWEN, A.G.; GODBOLD, D.L.; JONES, D.L. Organic acid mediated P mobilization in the rhizosphere and uptake by maize roots. **Soil Biology Biochemistry**, v. 34, p. 703-710, 2002.

TABBARA, H. Phosphorus loss to runoff water twenty-four hours after application of liquid swine manure or fertilizer. **Journal Environmental Quality**, v. 32, p. 1044-1052, 2003.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J.L. Effects of Application of Two Organomineral Fertilizers on Nutrient Leaching Losses and Wheat Crop. **Agronomy Journal**, v.97, n.3, p. 960-967, 2005.

USGS – U. S. Geological Survey, 2017 – **Mineral Commodity Summaries 2017**: U. S. Geological Survey, 202 p. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/70180197>. <http://doi.org/10.3133/70180197>. Acesso em: junho de 2017.

VACCARI, D.A. Phosphorus: a looming crisis. **Scientific American**, v. 300, p. 42-47, 2009.

VAN RANST, E.; VERLOO, M.; DEMEYER, A.; PAUWELS, J.M.; 1999. **Manual for the Soil Chemistry and Fertility Laboratory**. Ghent University, Ghent.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, v 15, p. 1-19, 1976.

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1929-1939, 2008.

WIETHOLTER, S.; SIQUEIRA, O.J.; PERUZZO, G.; BEN, J.R. Efeito de fertilizantes minerais e organominerais nos rendimentos de culturas e em fatores de fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.5, p. 713-724, 1994.

YOO, K.H.; TOUCHTON, J.T. & WALKER, R.H. Runoff, sediment and nutrient losses from various tillage systems of Cotton. **Soil Tillage Research**, v. 12, p. 13-24, 1988.

## 7. ANEXOS

### **Anexo 1.** Descrição geral de perfil de solo em área adjacente ao experimento

Classificação: LATOSSOLO AMARELO.

Localização: Coordenadas geográficas 12°05'14,2" S e 46°02'46,1" W.

Município e Estado: Luís Eduardo Magalhães, BA.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Trincheira aberta sob vegetação nativa de Cerrado e declividade de 0-3 %.

Litologia: Sedimentos originados prioritariamente de gnaisses.

Formação geológica: Sedimentos do quaternário.

Cronologia: Quaternário.

Material originário: Sedimentos colúvio-aluvionais.

Pedregosidade: Não pedregosa.

Rochosidade: Não rochosa.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Fortemente drenado.

Uso atual: Área de reserva legal.

Clima: Aw – clima tropical com estação seca, da classificação de Köppen.

### **Descrição morfológica**

- A<sub>1</sub>** 0-10,5 cm;  
Bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); franco-arenosa; granular, moderada, muito pequena a pequena; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A<sub>2</sub>** 10,5-20 cm;  
Bruno-amarelado (10YR 5/4); franco-arenosa; granular, moderada, pequena; ligeiramente dura; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- AB** 20-34 cm;  
Bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3); franco-arenosa; blocos subangulares/granular; moderada, pequena; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- BA** 34-43,5 cm;  
Bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4); franca; blocos subangulares, moderada, pequena; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- B<sub>1</sub>** 43,5-96 cm;  
Bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4); franca; blocos subangulares a granular,

moderada, pequena; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

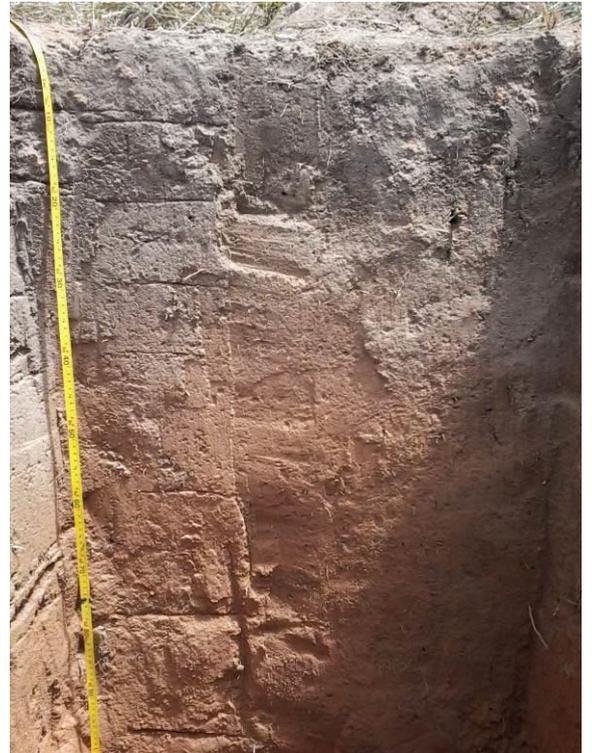
- B<sub>2</sub>** 96-130 cm<sup>+</sup>;  
Bruno-forte (7,5 YR 5/8); franca; granular, fraca, muito pequena; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

Observações:

- Presença de carvão em todo o perfil do solo.



Localização do perfil.



Vista do perfil.

**Figura 15.** Solo sob área adjacente ao experimento, Latossolo Amarelo (Luís Eduardo Magalhães, BA).

**Anexo 2.** Análise de variância da fitomassa e acúmulo de P em parte aérea de plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 dias após emergência (DAE), sob três doses de P aplicadas no solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	gl	Quadrado médio			
		Fitomassa de parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )			
		21 DAE	63 DAE	84 DAE	148 DAE
Fonte (F)	2	18*	873	2921	736
Aplicação (A)	1	46**	10742***	4845	4599
Dose (D)	2	7	1171	2712	1219
Fonte x Aplicação	2	28**	539	2177	5157*
Fonte x Dose	4	16**	193	2332	344
Aplicação x Dose	2	45***	125	2896	1760
F x A x D	4	15**	464	546	714
Erro	51	4	597	1409	1481
CV%		26,62	23,78	19,08	11,17
		Acúmulo de fósforo (mg planta <sup>-1</sup> )			
		21 DAE	63 DAE	84 DAE	148 DAE
Fonte	2	289*	9088	20076	3357
Aplicação	1	498*	32099*	3447	105707***
Dose	2	28	43154**	32321	5218
Fonte x Aplicação	2	292*	1451	19503	32115**
Fonte x Dose	4	110	9950	5183	12890*
Aplicação x Dose	2	654***	2314	82995**	4853
F x A x D	4	246*	4898	15131	8352
Erro	51	71	6071	14925	4788
CV%		34,85	32,14	31,27	21,08

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5%, 1% e 0,1% pelo teste F

**Anexo 3.** Equações de regressão para fitomassa de parte aérea de plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 DAE, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Manejo da adubação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
21 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 5,583 + 0,021x$	0,0119	n.s.
	MAP	$y = 4,84 + 0,1332x - 0,000724x^2$	0,0046	0,0066
	SSP	$y = 5,98 + 0,10x - 0,0007x^2$	0,0071	0,0036
A lanço	FOM	$y = 8,671 - 0,007x$	n.s.	n.s.
	MAP	$Y = 7,806 - 0,007x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 8,40 - 0,11x + 0,0006x^2$	0,0040	0,0027
63 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 180,204 + 0,0780x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 106,502 + 0,167x$	0,0899	n.s.
	SSP	$y = 112,203 - 0,014x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 74,466 + 0,271x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 79,874 + 0,080x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 72,237 + 0,095x$	n.s.	n.s.
84 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 0,143x + 199,389$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 0,207x + 170,613$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 0,227x + 182,493$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 176,91 + 1,2303x - 0,0083x^2$	0,1153	0,0724
	MAP	$y = 176,94 + 0,83x - 0,005x^2$	0,0583	0,0362
	SSP	$y = 174,737 + 0,003x$	n.s.	n.s.
148 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 327,935 + 0,086x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 336,445 + 0,096x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 326,94 + 1,2805x - 0,006x^2$	0,0600	0,0911
A lanço	FOM	$y = 317,14 + 1,02x - 0,006x^2$	0,0259	0,0153
	MAP	$y = 314,28 + 0,864x - 0,004477x^2$	0,0549	0,0804
	SSP	$y = 319,089 + 0,017x$	n.s.	n.s.

**Anexo 4.** Equações de regressão para acúmulo de P em parte aérea de plantas de milho aos 21, 63, 84 e 148 DAE, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Formas de aplicação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
21 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 17,623 + 0,692x$	0,0069	n.s.
	MAP	$y = 16,21 + 0,429x - 0,002246x^2$	0,0053	0,0094
	SSP	$y = 18,73 + 0,332x - 0,002185x^2$	0,0119	0,0062
A lanço	FOM	$y = 27,556 - 0,022x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 24,421 - 0,015x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 25,30 - 0,409x + 0,002439x^2$	0,0103	0,0090
63 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 201,865 + 0,878x$	0,0020	n.s.
	MAP	$y = 181,725 + 1,077x$	0,0244	n.s.
	SSP	$y = 224,929 + 0,082x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 169,126 + 0,594x$	0,0174	n.s.
	MAP	$y = 186,584 - 0,553x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 169,267 + 0,404x$	n.s.	n.s.
84 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 188,70 + 6,114x - 0,027428x^2$	0,0069	0,0246
	MAP	$y = 212,932 + 1,286x$	0,0053	n.s.
	SSP	$y = 193,71 + 5,325x - 0,024206x^2$	0,0203	0,0548
A lanço	FOM	$y = 425,095 - 0,609x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 385,805 - 0,072x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 393,664 - 0,223x$	n.s.	n.s.
148 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 335,395 + 0,0371x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 333,431 + 0,379x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 411,927 - 0,309x$	0,1200	26,6200
A lanço	FOM	$y = 233,01 + 2,996x - 0,018946x^2$	0,0003	0,0002
	MAP	$y = 250,408 + 0,715x$	0,0253	n.s.
	SSP	$y = 239,101 - 0,049x$	n.s.	n.s.

**Anexo 5.** Análise de variância da fitomassa da parte aérea de plantas de soja aos 36, 44, 82 e 104 dias após emergência (DAE), sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	Quadrado médio					
	Fitomassa de parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )					
	gl	36 DAE	44 DAE	82 DAE	gl	104 DAE
Fonte (F)	2	1,5	2,9	76,4	2	52,8
Aplicação (A)	1	0,6	12,9	255,3	1	24,1
Dose (D)	2	4,6	7,4	90,1	2	31,8
Fonte x Manejo	2	1,0	10,1	123,6	2	18,3
Fonte x Dose	4	0,4	1,8	38,3	4	3,4
Manejo x Dose	2	0,8	0,1	326*	2	20,9
F x A x D	4	3,8	3,0	20,0	4	26,9
Erro	51	2,2	6,8	68,1	34	19,7
CV%		26,76	25,56	20,35		15,51

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

**Anexo 6.** Análise de variância do acúmulo de P e N na parte aérea de plantas de soja aos 82 DAE, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	gl	Quadrado médio	
		Acúmulo de fósforo (mg planta <sup>-1</sup> )	Acúmulo de nitrogênio (g planta <sup>-1</sup> )
Fonte (F)	2	1735,0***	0,224*
Aplicação (A)	1	333,9	0,000
Dose (D)	2	2880,9***	0,171*
Fonte x Manejo	2	107,5	0,029
Fonte x Dose	4	175,1	0,053
Manejo x Dose	2	673,1*	0,162
F x A x D	4	321,1	0,060
Erro	51	206,0	0,053
CV%		21,33	20,68

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% e 1% pelo teste F.

**Anexo 7.** Equações de regressão para fitomassa de parte aérea de plantas de soja aos 36, 44, 82 e 104 DAE, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Manejo da adubação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
36 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 3,992 + 0,837x$	0,0331	n.s.
	MAP	$y = 4,129 + 0,507x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 4,705 + 0,276x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 5,663 - 0,106x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 5,819 - 0,240x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 5,249 + 0,486x$	n.s.	n.s.
44 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 8,602 + 0,799x$	0,0719	n.s.
	MAP	$y = 9,034 + 0,880x$	0,0439	n.s.
	SSP	$y = 8,722 + 0,785x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 8,605 + 0,985x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 7,569 + 0,757x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 8,600 + 0,284x$	n.s.	n.s.
82 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 34,306 + 3,628x$	0,0216	n.s.
	MAP	$y = 38,205 + 2,631x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 34,92 + 8,858x - 2,337x^2$	0,0479	0,0914
A lanço	FOM	$y = 40,294 + 0,840x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 39,443 - 1,033x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 38,862 - 1,819x$	n.s.	n.s.
104 DAE				
Enterrado	FOM	$y = 26,196 + 1,119x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 25,326 + 2,214x$	0,0528	n.s.
	SSP	$y = 26,347 + 0,0729x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 25,333 + 0,850x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 28,091 + 1,345x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 25,073 + 1,746x$	0,0319	n.s.

**Anexo 8.** Equações de regressão para acúmulo de P e N na parte aérea de plantas de soja aos 82 DAE, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Formas de aplicação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
Acúmulo de fósforo				
Enterrado	FOM	$y = 44,291 + 0,268x$	0,0013	n.s.
	MAP	$y = 45,929 + 0,250x$	0,0009	n.s.
	SSP	$y = 45,636 + 0,113x$	0,0012	n.s.
A lanço	FOM	$y = 54,837 + 0,247x$	0,0045	n.s.
	MAP	$y = 57,739 + 0,129x$	0,0949	n.s.
	SSP	$y = 50,723 + 0,0971x$	0,0806	n.s.
Acúmulo de nitrogênio				
Enterrado	FOM	$y = 0,904 + 0,00307x$	0,0023	n.s.
	MAP	$y = 0,973 + 0,00160x$	0,0611	n.s.
	SSP	$y = 0,977 + 0,000688x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 1,088 + 0,00166x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 1,098 + 0,00002x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 1,010 - 0,000025x$	n.s.	n.s.

**Anexo 9.** Análise de variância da produtividade e acúmulo de P nos grãos de milho, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	gl	Quadrado médio	
		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Acúmulo de P nos grãos (kg P ha <sup>-1</sup> )
Fonte (F)	2	260,0	41,8*
Aplicação (A)	1	5028,0***	8,9
Dose (D)	2	492,5	79,9**
Fonte x Aplicação	2	827,45*	28,8
Fonte x Dose	4	182,9	13,3
Aplicação x Dose	2	174,0	46,7*
F x A x D	4	126,0	0,8
Erro	51	241,3	10,4
CV%		7,59	17,03

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5%, 1% e 0,1% pelo teste F;

**Anexo 10.** Equações de regressão para produtividade e acúmulo de P nos grãos de milho, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Formas de aplicação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
Produtividade				
Enterrado	FOM	$y = 6,871 - 0,555x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 6,695 - 0,0025x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 6,780 - 0,00042x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 5,96 + 0,011x - 0,000076x^2$	0,0115	0,0069
	MAP	$y = 6,020 + 0,0031x$	0,0467	n.s.
	SSP	$y = 5,805 + 0,0018x$	n.s.	n.s.
Acúmulo de fósforo nos grãos				
Enterrado	FOM	$y = 19,581 + 0,0010x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 17,826 + 0,014x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 18,009 + 0,0066x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 15,832 + 0,030x$	0,0213	n.s.
	MAP	$y = 15,504 + 0,059x$	0,0002	n.s.
	SSP	$y = 16,02 - 0,051x + 0,000455x^2$	0,1576	0,0432

**Anexo 11.** Resumo da análise de variância da produtividade, acúmulo de P e N nos grãos de soja, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	gl	Quadrado médio		
		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Acúmulo de P nos grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	Acúmulo de N nos grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
Fonte (F)	2	40,1	3,1	53,0
Aplicação (A)	1	143,6	1,4	98,0
Dose (D)	2	106,2	2,6	122,4
F x A	2	254,2	1,7	780,9
F x D	4	114,9	1,7	368,5
A x D	2	133,4	1,3	273,2
F x A x D	4	95,4	1,4	237,3
Erro	51	166,5	1,1	279,0
CV%		22,57	22,14	21,61

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

**Anexo 12.** Equações de regressão para produtividade, acúmulo de P e N nos grãos de soja, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizante organomineral formulado à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Formas de aplicação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
Produtividade				
Enterrado	FOM	$y = 2,045 - 0,092x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 1,885 - 0,015x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 2,122 - 0,125x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 1,642 + 0,0925x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 1,710 + 0,0225x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 1,615 - 0,0100x$	n.s.	n.s.
Acúmulo de fósforo				
Enterrado	FOM	$y = 4,795 + 0,000786x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 4,165 + 0,00764x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 4,925 - 0,00321x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 3,55 + 0,052x - 0,000253x^2$	0,0082	0,0207
	MAP	$y = 4,390 + 0,00532x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 3,955 + 0,00332x$	n.s.	n.s.
Acúmulo de nitrogênio				
Enterrado	FOM	$y = 87,800 - 0,128x$	0,0480	n.s.
	MAP	$y = 89,61 - 0,566x + 0,003505x^2$	0,0698	0,0557
	SSP	$y = 92,970 - 0,0843x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 67,82 + 0,448x - 0,00237x^2$	0,0624	0,0840
	MAP	$y = 74,800 - 0,00125x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 71,960 - 0,0159x$	n.s.	n.s.

**Anexo 13.** Resumo da análise de variância do P assimilável no solo após o cultivo do milho, em diferentes profundidades de amostragem do solo, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	gl	Quadrado médio				
		Profundidade (cm)				
		0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
Fonte (F)	2	174,0	465,0	59,1	1,3	1,1
Aplicação (A)	1	7770***	6441***	308*	45,1***	16,0***
Dose (D)	2	2612***	1154**	677**	18,5**	4,3*
Fonte x Aplicação	2	288	604*	308*	0,5	0,1
Fonte x Dose	4	269	354	94,3	1,8	3,9*
Aplicação x Dose	2	65,0	397	209	2,8	1,1
F x A x D	4	400*	87,6	175*	1,3	1,6
Erro	51	112	163	66,0	2,7	1,3
CV%		27,42	38,99	42,91	44,76	53,02

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

**Anexo 14.** Resumo da análise de variância do P assimilável no solo após o cultivo da soja, sob três doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), sob duas formas de aplicação (enterrado ou a lanço).

Fonte de variação	gl	Quadrado médio				
		Profundidade (cm)				
		0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
Fonte (F)	2	625,2	191,8	121,2	14,0	11,3*
Aplicação (A)	1	1521*	3770**	533,5*	51,7**	4,5
Dose (D)	2	1017*	70,7	32,7	18,6	3,0
Fonte x Aplicação	2	871,1*	94,4	118,9	14,2	3,4
Fonte x Dose	4	441,2	303,8	94,2	2,1	3,5
Aplicação x Dose	2	518,8	44,3	6,8	52,1**	2,4
F x A x D	4	108,7	182,8	96,7	23,8**	2,9
Erro	51	214	234	85,7	6,8	2,6
CV%		29,53	43,38	38,35	41,58	45,45

\*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F;

**Anexo 15.** Equações de regressão para P assimilável após o cultivo do milho, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), aplicados enterrado ou a lanço.

Formas de aplicação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
0 - 5 cm				
Enterrado	FOM	$y = 22,94 - 0,055x + 0,001154x^2$	0,6060	0,0877
	MAP	$y = 21,050 + 0,0886x$	0,0139	n.s.
	SSP	$y = 21,825 - 0,162x + 0,00168x^2$	0,081	0,0065
A lanço	FOM	$y = 16,432 + 0,689x - 0,00276x^2$	0,0191	0,0597
	MAP	$y = 26,350 + 0,275x$	0,0050	n.s.
	SSP	$y = 19,450 + 0,309x$	0	n.s.
5 - 10 cm				
Enterrado	FOM	$y = 16,450 + 0,0801x$	0,0832	n.s.
	MAP	$y = 15,650 + 0,0809x$	0,0322	n.s.
	SSP	$y = 16,550 + 0,0653x$	0,0886	n.s.
A lanço	FOM	$y = 21,500 + 0,0920x$	0,0031	n.s.
	MAP	$y = 22,100 + 0,274x$	0,0040	n.s.
	SSP	$y = 20,500 + 0,258x$	0,0016	n.s.
10 - 20 cm				
Enterrado	FOM	$y = 7,250 + 0,0491x$	0,0323	n.s.
	MAP	$y = 8,209 + 0,0142x + 0,000987x^2$	0,8534	0,0493
	SSP	$y = 6,750 + 0,125x$	0,0018	n.s.
A lanço	FOM	$y = 20,050 + 0,0457x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 17,500 + 0,0455x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 20,300 - 0,0213x$	0,5643	n.s.
20 - 40 cm				
Enterrado	FOM	$y = 2,250 + 0,0125x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 2,750 + 0,000893x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 2,682 - 0,0273x + 0,000213x^2$	0,1240	0,0481
A lanço	FOM	$y = 4,850 - 0,00143x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 6,0159 - 0,0646x + 0,000380x^2$	0,0993	0,0950
	SSP	$y = 5,784 - 0,063x + 0,000401x^2$	0,0844	0,0617
40 - 60 cm				
Enterrado	FOM	$y = 1,250 + 0,00179x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 1,150 + 0,00768x$	0,0705	n.s.
	SSP	$y = 1,100 + 0,00661x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 1,948 + 0,0269x - 0,000188x^2$	0,1439	0,0855
	MAP	$y = 1,400 + 0,0166x$	0,0055	n.s.
	SSP	$y = 1,750 + 0,00804x$	n.s.	n.s.

**Anexo 16.** Equações de regressão para P assimilável após o cultivo da soja, em resposta a quatro doses de P aplicadas ao solo, como fertilizantes organomineral formulados à base de cama de frango (FOM), monoamônio fosfato (MAP) ou super fosfato simples (SSP), aplicados enterrado ou a lanço.

Formas de aplicação	Fonte	Modelo de regressão	Significância coef. x	Significância coef. x <sup>2</sup>
0 - 5 cm				
Enterrado	FOM	$y = 34,970 + 0,957x - 0,00549x^2$	0,0001	0,0001
	MAP	$y = 34,0909 + 0,408x - 0,00224x^2$	0,0084	0,0112
	SSP	$y = 36,961 + 0,430x - 0,00234x^2$	0,0139	0,0189
A lanço	FOM	$y = 31,861 + 0,514x - 0,00304x^2$	0,0834	0,0778
	MAP	$y = 40,250 + 0,0911x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 37,650 - 0,0325x$	n.s.	n.s.
5 - 10 cm				
Enterrado	FOM	$y = 32,200 + 0,109x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 29,900 + 0,104x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 27,550 + 0,119x$	0,0303	n.s.
A lanço	FOM	$y = 30,300 - 0,0516x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 21,800 + 0,110x$	0,0096	n.s.
	SSP	$y = 22,100 + 0,0182x$	n.s.	n.s.
10 - 20 cm				
Enterrado	FOM	$y = 20,232 + 0,311x - 0,00189x^2$	0,0347	0,0281
	MAP	$y = 22,700 + 0,0391x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 18,150 + 0,0586x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 20,050 - 0,0275x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 18,750 + 0,661x$	0,0407	n.s.
	SSP	$y = 20,150 - 0,00214x$	n.s.	n.s.
20 - 40 cm				
Enterrado	FOM	$y = 4,500 + 0,0875x - 0,000469x^2$	0,0766	0,0977
	MAP	$y = 4,725 + 0,0966x - 0,000586x^2$	0,0130	0,0103
	SSP	$y = 5,652 + 0,0775x - 0,000515x^2$	0,1093	0,0721
A lanço	FOM	$y = 8,700 - 0,0225x$	0,0535	n.s.
	MAP	$y = 7,402 - 0,0788x + 0,000423x^2$	0,0310	0,0424
	SSP	$y = 6,870 - 0,0715x + 0,000366x^2$	0,0365	0,0586
40 - 60 cm				
Enterrado	FOM	$y = 2,950 + 0,0176x$	0,0281	n.s.
	MAP	$y = 2,250 + 0,0500x - 0,000313x^2$	0,0281	0,0201
	SSP	$y = 2,300 + 0,00821x$	n.s.	n.s.
A lanço	FOM	$y = 3,000 + 0,00625x$	n.s.	n.s.
	MAP	$y = 3,200 + 0,00429x$	n.s.	n.s.
	SSP	$y = 3,0136 - 0,0277x + 0,000192x^2$	0,0949	0,0526