

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RODRIGO SAKURADA LIMA

Adubação fosfatada utilizando fertilizantes organominerais na cultura da soja em  
solo de fertilidade construída

Maringá

2019

RODRIGO SAKURADA LIMA

Adubação fosfatada utilizando fertilizantes organominerais na cultura da soja em solo de fertilidade construída

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Dr. Marcelo Augusto Batista.

Coorientador: Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue.

Maringá

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

L732a

Lima, Rodrigo Sakurada

Adubação fosfatada utilizando fertilizantes organominerais na cultura da soja em solo de fertilidade construída / Rodrigo Sakurada Lima. -- Maringá, PR, 2019.  
viii, 72 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Batista.

Coorientador: Prof. Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

1. Fertilidade do solo. 2. Adubos. 3. Adubo organomineral. 4. Nutrição de plantas - Soja. 5. Soja. I. Batista, Marcelo Augusto, orient. II. Inoue, Tadeu Takeyoshi, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 23.ed. 631.86

Márcia Regina Paiva de Brito - CRB-9/1267

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Rodrigo Sakurada Lima

Adubação fosfatada utilizando fertilizantes organominerais na cultura da soja em solo de fertilidade construída

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronomia:

em 28 de Fevereiro de 2019

COMISSÃO JULGADORA

---

Dr. Marcelo Marques Lopes Muller

---

Dr. Marcelo Alessandro Araújo

---

Dr. Marcos Rafael Nanni

---

Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue

(Co-orientador)

---

Dr. Marcelo Augusto Batista

(Orientador)

## **Dedicatória**

**Dedico este trabalho a...**

...ditian Maçar e batian Eico, tudo começou com vocês.  
Espero poder dar continuidade a tudo que vocês criaram.

...meu pai Paulo, minha mãe Tiemi, meu irmão Rafael e o Rex.  
Devo toda a minha vida a vocês, tudo que eu tenho de bom veio de vocês.

...minha esposa Thalinni, minha filha Maya (que está chegando) e a Laila.  
MINHA família que eu amo e pela qual não medirei esforços para fazê-los felizes.

## **Agradecimentos**

### **Agradeço...**

Ao todo poderoso, pois acima de nós sempre há alguém que governa tudo o que acontece e por me permitir concluir mais uma etapa ainda que em meio a um turbilhão de acontecimentos;

À minha esposa Thalinni, que me deu todo o apoio, ajuda, carinho e compreensão, principalmente pelos momentos de ausência pelo tempo que tive que dedicar a conclusão do doutorado. Isso tem um peso ainda maior pelo fato de fazer tudo isso nos últimos 8 meses com a Maya na barriga e a Laila precisando de todos os cuidados que uma cadelinha idosa com 18 anos exige;

Aos meus pais Paulo e Tiemi e meu irmão Rafael que sempre foram minha base para que pudesse construir meu caminho;

Ao ditian Maçar e a batian Eico que me mostraram desde sempre como a união e o apoio da família é importante. Vocês são e sempre serão minha inspiração;

A toda minha família Sakurada e Lima, que sempre me deram muito apoio. Em especial ao Lucas, Du e a Gê, que por estarmos próximos, sempre me deram cobertura quando não pude fazer minha parte pela nossa família, principalmente nos cuidados com a batina e o ditian;

À família da minha esposa, minha segunda família, pelo apoio, cuidado e palavras de incentivo.

Ao Prof. Dr Marcelo Batista, sou profundamente grato pela orientação nos últimos seis anos. Agradeço a oportunidade de ser o primeiro orientado de mestrado e doutorado, pela confiança, ensinamentos e conselhos. A amizade que foi construída ao longo desses anos é o que levo de mais valioso;

Ao Prof. Dr. Tadeu Inoue, pela orientação, conselhos e amizade desde a minha graduação. Sou imensamente grato por todo o seu apoio;

Ao amigo e coordenador da UDT - Floresta, Dr. Edner Betioli Junior, por todo o apoio durante todo o período de pós-graduação;

À COCAMAR, por ter possibilitado a execução do meu projeto de doutorado na UDT – Floresta.

Ao Prof. Dr. Cássio Tormena, que foi muito solícito e muito me ajudou na etapa final do doutorado;

Ao Prof. Dr. Saraiva Muniz e ao Prof. Dr. Marcos Nanni, que cooperaram para que o trabalho antes e durante a qualificação;

Aos amigos Simone, Tiemi, Michelli e Marcelo, pelo apoio e palavras de incentivo a todo o momento;

À tia Cilmara, minha primeira professora da vida. O seu dom em ensinar e o amor a sua profissão de professora me fez sentir desde cedo o quão importante é o a educação da vida das pessoas;

Aos meus queridos professores do Colégio Santo Inácio, vocês também são responsáveis por minhas conquistas, com menção especial ao Prof. Marcão, que me desafiou e me tornar um doutor;

Aos colegas pós-graduandos e graduando do grupo GESSO pelos momentos divididos durante os últimos seis anos;

À secretária do PGA, Erika, pelo cuidado, carinho e paciência ao longo dos anos de pós-graduação;

Aos técnicos dos laboratórios da área de solos do DAG, Roberto Carlos, Silvia, Anderson, Reinaldo e Ivan, pela ajuda e auxílio;

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), que há 12 anos tem sido minha segunda casa e da qual tenho muito orgulho, por me oferecer a oportunidade de crescer como pessoa e profissional;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia PGA pela oportunidade de ter realizado o doutorado;

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.

## Sumário

CAPÍTULO I .....	1
1.1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1.2 HIPÓTESE .....	3
1.3 OBJETIVO GERAL.....	3
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
CAPÍTULO II.....	4
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 DINÂMICA DO FÓSFORO EM SOLOS TROPICAIS.....	4
2.2 FONTES INORGÂNICAS DE P.....	9
2.3 FONTES ORGÂNICAS DE FÓSFORO .....	12
2.4 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	15
2.5 FÓSFORO NA PLANTA.....	18
CAPÍTULO III .....	20
Adubação fosfatada utilizando fertilizantes organominerais na cultura da soja .....	20
3.1 RESUMO.....	20
3.2 ABSTRACT .....	21
3.3 INTRODUÇÃO.....	22
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
<b>Resultados</b> .....	33
<b>Discussão</b> .....	39
3.6 CONCLUSÕES .....	48
3.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	49
REFERÊNCIAS .....	50
ANEXOS .....	65

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Há aproximadamente 10 mil anos, a história da agricultura se inicia e o homem passa a ser sedentário e a cultivar seu próprio alimento por meio da domesticação de plantas e animais. Nessa fase, ocorreu a chamada primeira revolução agrícola ou revolução agrícola neolítica (Mazoyer e Roudart, 2010). Desde então, a evolução e desenvolvimento da agricultura foram marcadas por revoluções (agrícola, verde, transgênica) que são caracterizadas por grandes descobertas e aplicações que culminaram na agricultura praticada atualmente.

No cenário da agricultura contemporânea, o Brasil se destaca como um dos principais produtores e exportadores agrícolas do mundo, seja de proteína animal ou na produção de grãos. Os avanços obtidos até então e que resultaram nos atuais níveis de produtividade tem uma consequência importante: a dependência de insumos. Dentre estes insumos, os fertilizantes, juntamente com os agrotóxicos, ocupam a maior fatia dos custos de produção das principais culturas agrícolas anuais produzidas no Brasil (Conab, 2018a). Embora a aplicação de fertilizantes proporcione aumento dos níveis de produtividade das culturas, a tendência é que esses aumentos concomitantes de custos também continuem. Isso tem levado a uma preocupação recorrente com relação às reservas mundiais de fertilizantes. Porém, a situação não é tão alarmante como já anunciada anteriormente quando se estimavam 93 e 291 anos de longevidade para reservas<sup>1</sup> e base de reserva<sup>2</sup> de rocha fosfática (Fixen, 2009). Mais recentemente, Van Kauwenbergh et al. (2013) estimaram que a longevidade de reservas e bases de reserva mundiais de rocha fosfática é de mais 300 e 1400 anos, respectivamente, com base nos dados atuais. Dessa forma, pelo menos para um futuro próximo há garantias de fornecimento de rochas fosfáticas para agricultura.

---

1 Parte da base de reserva que pode ser economicamente extraída ou produzida no momento da avaliação (Fixen, 2009).

2 Recursos que são atualmente econômicos (reservas), marginalmente econômicos e subeconômicos (Fixen, 2009).

As atividades desenvolvidas pelo homem em sua maioria geram grandes quantidades de resíduos, que, se não manejadas corretamente, transformam-se em potenciais poluidores do meio ambiente. Contudo, esse passivo decorrente das atividades industriais ou agrícolas pode resultar em um insumo que contribui para a agricultura sustentável. O uso de fontes alternativas ou secundárias de fósforo (P) tem sido estudado e apresenta grande potencial para substituir, mesmo que parcialmente, as fontes minerais de P. Withers et al. (2014, 2015 e 2018) e Mogollón et al. (2018) têm apresentado propostas e possíveis cenários que mostram a possibilidade do uso de fontes de resíduos animais em substituição parcial de fonte minerais. Além disso, os autores propõem o manejo da adubação fosfatada de modo que o aproveitamento pelas culturas seja maior e as perdas sejam menores. Analisando diferentes cenários de oferta e demanda atual e futura de P no Brasil, Withers et al. (2018) concluíram que as fontes secundárias de P geradas anualmente poderia suprir até 20% da demanda de P pelas culturas até 2050. Vários compostos orgânicos como aqueles oriundos de compostagem, torta de filtro, dejetos suíno, cama de aviário, turfa, entre outros, podem se tornar grandes aliados para aumentar a eficiência dos fertilizantes minerais fosfatados (Kiehl, 2010 e Withers et al., 2015).

Os solos tropicais, devido as suas características, apresentam elevada capacidade em adsorver e fixar P, tornando-o indisponível à absorção pelas plantas. A adição de matéria orgânica e compostos que acrescentem ácidos orgânicos reduzem os efeitos da adsorção e fixação de P no solo (Novais e Smyth, 1999; Andrade et al., 2003). Assim, a utilização conjunta de fontes orgânicas e minerais de P pode favorecer a disponibilidade de P no solo e torná-la mais longa. A adição concomitante de compostos orgânicos, que podem liberar ácidos orgânicos e assim reduzir a fixação do P solúvel pelos óxidos de Fe e Al e a disponibilização do P de forma mais gradual, permite um fornecimento prolongado de P mesmo que em doses mais baixas.

Com base na temática de uso conjunto de fontes inorgânicas e orgânicas, o uso de fertilizantes organominerais torna-se uma forma prática de utilizar ambas as fontes. Os fertilizantes organominerais são originados da mistura física de uma fonte orgânica com uma inorgânica, os quais precisam atender alguns requisitos técnicos mínimos para serem comercializados. Algumas das vantagens dos organominerais frente aos orgânicos são: a homogeneidade física, que favorece sua aplicação no campo; menor umidade associado ao adensamento/compactação da fonte orgânica, o controle e maior concentração dos nutrientes aplicados e a possibilidade de formular fertilizantes mais balanceados.

A fundamentação apresentada norteou o desenvolvimento de um experimento com o objetivo de avaliar a eficiência de diferentes tipos de fertilizantes organominerais durante 3 safras de soja, o qual é descrito no presente trabalho em 3 capítulos. No capítulo I tem-se uma breve introdução sobre a tese. No capítulo II está apresentada uma revisão de literatura referente aos temas que serão discutidos ao longo do trabalho. No capítulo III estão apresentados os resultados das análises de solo e da produção em resposta aos tratamentos durante três safras de soja.

## **1.2 HIPÓTESE**

A eficiência do fertilizante fosfatado organomineral para a adubação fosfatada da soja não difere do fertilizante mineral, independente da dose e da forma física do fertilizante.

## **1.3 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes organominerais fosfatados no solo e no rendimento da cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill), quando cultivados com diferentes formas de fertilizantes (granulado, mistura de grânulos e peletizado) em um Latossolo Vermelho eutroférico.

## **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a produtividade e os teores de nutrientes nas folhas e nos grãos da cultura da soja em resposta à aplicação de fertilizantes organominerais;
- Avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes organominerais e mineral na disponibilidade de P no solo;
- Avaliar a eficiência agrônômica e de recuperação de P na cultura da soja adubada com fertilizantes organominerais e minerais.

## CAPÍTULO II

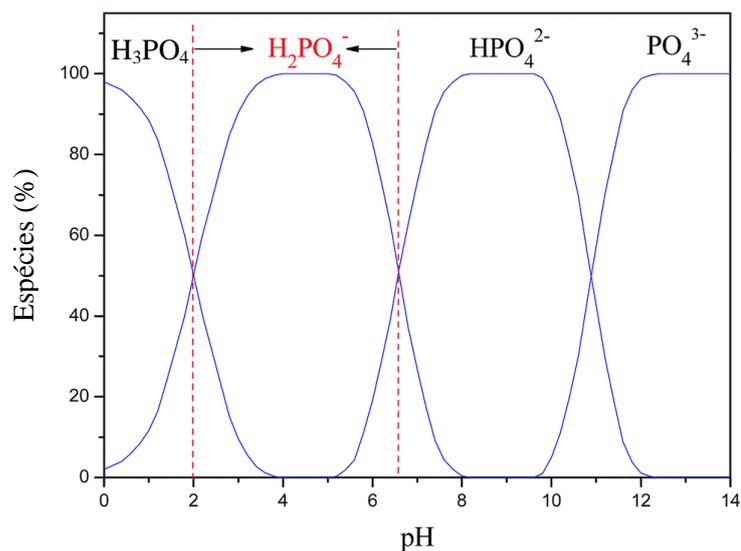
### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 DINÂMICA DO FÓSFORO EM SOLOS TROPICAIS

Os solos tropicais, em sua maioria ácidos, mostram-se deficientes em fósforo (P) devido à pobreza deste elemento no material de origem que forma o solo e às intensas reações do P com vários constituintes do solo. Assim, o P é um dos elementos que mais limita o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produção agrícola (Frageria, 1998; Costa et al., 2009). Porém, o fornecimento de P ao solo é essencial para que as culturas possam expressar seu potencial produtivo.

O P é encontrado no solo em diferentes formas, podendo formar compostos e estar livre na solução solo, ligado aos coloides do solo e presente na matéria orgânica do solo (MOS) (Barber, 1984; Novais e Smyth, 1999). O fósforo orgânico (Po) pode estar presente na forma de fosfolípídeos, ácidos nucleicos, fosfatos de inositol entre outras formas orgânicas que também estão presentes nas plantas. Dependendo das condições e da classe de solo, o Po pode representar até 80% do P total no solo (Tiessen et al., 1984; Stevenson, 1994; Rheinheimer e Anghinoni, 2003). Entretanto, para que o P presente na MOS seja absorvido pelas plantas, há uma dependência da atividade microbiana para que ocorra o processo de mineralização (Stevenson e Cole, 1999).

O fósforo inorgânico (Pi) quando absorvido pelas plantas, está na forma de ortofosfato, tendo sua forma no solo definida pela variação do pH (Figura 2.1). Na faixa de pH alcalino (6,6 – 11,0) predomina a forma  $\text{HPO}_4^{2-}$  enquanto que em condições ácidas (2,0 – 6,6) predomina a forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , sendo a mais comum em solos tropicais (Novais e Kamprath, 1979; Brady e Weil, 2012). Dessa forma, o aumento do pH promove o aumento de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  que é a preferencialmente absorvida pelas plantas (Novais et al., 2007). Em pH muito elevado (>11,0) pode haver predomínio da espécie  $\text{PO}_4^{3-}$  e em pH muito ácido (<2,0) pode haver predomínio de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .



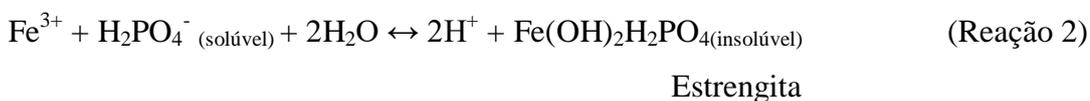
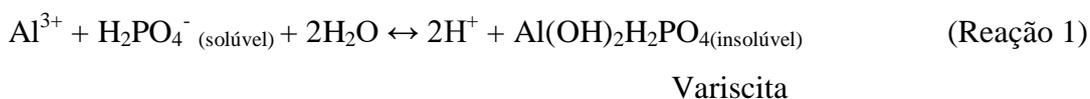
**Figura 1.** Especiação do fosfato em função do pH. Adaptado de Shen et al. (2015).

Quando na solução do solo, o P (P-sol) está prontamente disponível para que as plantas possam absorvê-lo. Além do P-sol, ainda existe o P-lábil que está disponível e representa o P em equilíbrio com a solução do solo e, por fim, o P-não lábil que não está disponível para as plantas. Em solos tropicais, a maior parte do P não está prontamente disponível para as plantas. Processos de retenção deste elemento no solo são responsáveis por indisponibilizá-lo pelos mecanismos de adsorção, precipitação e fixação (Novais e Smyth, 1999). Os óxidos de Fe e Al, MOS e Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup> trocáveis estão envolvidos nesses processos (Novais e Smyth, 1999; Raji et al., 2004; Fink et al., 2016a). Devido a sua elevada área superficial específica, a fração argila do solo é a mais ativa no processo de adsorção e fixação (Novais e Smyth, 1999; Valladares et al., 2003; Fink et al., 2016a) apresentando maior correlação com a Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo - CMAP (Hernández e Meurer, 1998). Uma das causas dessa correlação é o fato de os óxidos de Fe e Al, que são os principais agentes de fixação, fazerem parte desta fração do solo.

Entende-se que a maior parte do P presente no solo, bem como o que é aplicado via fertilizantes, é adsorvido aos colóides do solo e a intensidade desse processo varia conforme várias características do solo (Souza et al., 2006). Todavia, o suprimento de P às plantas depende da concentração de fosfato solúvel presente na solução do solo, uma vez que as raízes das plantas absorvem somente o P-sol. Dessa forma, o P-lábil é muito importante para manter o suprimento de P às plantas por repor o P-sol. A evolução do

processo de adsorção em condições favoráveis, que é comum nos solos intemperizados, faz com que o P-lábil evolua para o P-não lábil, resultando no P fixado e indisponível às plantas (Novais e Smyth, 1999).

Os solos de regiões tropicais, como os da classe dos Latossolos, são conhecidos por serem altamente intemperizados (Oliveira, 2005). De forma geral, como características dessa classe de solos, destaca-se a presença de óxidos de Fe e Al em grandes quantidades, a acidez elevada e os baixos teores de MOS. Os principais processos que acarretam a deficiência de P nos solos tropicais são de precipitação que o fosfato sofre ao se ligar aos íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  (Reações 1 e 2) livres na solução e de fixação com óxidos de Fe e Al (Novais e Smyth, 1999; Fink et al. 2016a).



Quando formas solúveis de fosfatos são aplicadas ao solo, elas rapidamente solubilizam-se e a partir deste momento estão sujeitas às reações que resultarão na fixação do P pelos componentes do solo. No processo de adsorção, inicialmente ocorre atração eletrostática e em seguida o fosfato é reversivelmente adsorvido por meio de troca aniônica, sendo formado um complexo de esfera externa (Novais e Smyth, 1999). Nesta fase, o P ainda está em equilíbrio com a solução de solo, conseguindo repor o P absorvido pelas raízes das plantas. Após a fase inicial de adsorção, os íons fosfato passam a sofrer interações tornando-se cada vez mais indisponíveis. São reações com as superfícies de óxidos de Fe ou Al em que ocorre a troca de ligantes de um íon fosfato substituindo um grupo  $\text{OH}^-$  ou  $\text{OH}^{2+}$  dos óxidos. Com o tempo, o fosfato começa a fazer parte da estrutura cristalina do mineral formando uma ponte binuclear ou bidentada (Meurer, 2004; Brady e Weil, 2012). As ligações bidentadas apresentam um elevado grau de estabilidade e resultarão na formação dos chamados complexos de esfera interna, fazendo com que o fosfato fique cada vez mais indisponível, ou fixado no solo (Sposito, 2008; Brady & Weil, 2012).

Os solos originados do basalto (rocha magmática, básica, efusiva) possuem altos teores de óxidos de Fe e Al e apresentam maior capacidade de adsorver P do que solos derivados de materiais sedimentares (Gonçalves et al., 2011). A maior CMAP dos horizontes inferiores dos solos resulta dos menores teores de MOS (Almeida et al., 2003; Fink et al., 2016a).

Uma forma simples e rápida de se estimar a CMAP é por meio da análise do fósforo remanescente (P-rem) (Alvarez V. e Fonseca, 1990). Além disso, os óxidos de Al apresentam maior correlação com a CMAP do que óxidos de Fe (Vilar et al., 2010). Em situação não muito comum em solos de regiões tropicais, a precipitação de fosfatos de Ca ocorre em solos calcários e de pH elevado, e a solubilidade desses compostos precipitados aumenta com a redução do pH do solo (Olsen e Khasawneh, 1980).

Reações de precipitação ocorrem com a presença de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo em condições de pH baixo. Assim, a calagem é uma prática que aumenta o pH do solo, reduz a atividade do  $\text{Al}^{3+}$  e, conseqüentemente, reduz a probabilidade de ocorrência desta reação. A calagem é a principal prática agrônômica que promove o aumento das cargas negativas disponíveis na superfície dos coloides do solo (Souza et al., 2006). Atualmente, esta tem sido uma prática bastante difundida e utilizada pelos agricultores de modo que as quantidades de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  encontradas na solução solo são pouco significantes. Assim, a precipitação com esses dois cátions trivalentes têm, de certa forma, menos importância que a fixação (Olsen e Khasawneh et al., 1980). Nolla e Anghinoni (2006) observaram que o aumento da retenção de P em função da redução do pH era devido ao maior teor de Al trocável e sua alta capacidade de precipitar com o fosfato.

Outra forma de reduzir a fixação é com o aumento da MOS. A decomposição do material orgânico derivado dos restos vegetais geram vários produtos, dentre eles alguns ácidos orgânicos. Os ácidos orgânicos são compostos que apresentam alta estabilidade química e são classificados quanto a sua reação em meio ácido e meio alcalino. Os principais ácidos orgânicos são ácidos húmicos, fúlvicos e humina. Os ácidos orgânicos têm papel importante nesse processo (Abdala et al., 2015). Por exemplo, Cessa et al. (2010) observaram que a presença de ácido fúlvico foi capaz de reduzir a adsorção de P na fração argila de Latossolos Vermelhos. Dessa forma, a adoção de práticas que promovam o acúmulo e a manutenção de MOS resultam na redução da adsorção, em aumento de fósforo lábil e fósforo remanescente (Prem), bem como em maior aproveitamento do P pelas culturas (Abdala et al., 2015; Fink et al., 2016a). Essas práticas tendem a manter o sistema

menos dependente de aplicações de fertilizantes fosfatados em grandes quantidades (Novais e Smyth, 1999).

O P aplicado ao solo pode ter diferentes comportamentos de acordo com o tipo de fonte aplicada, o manejo adotado na área e as culturas. Assim, a adoção de técnicas que favoreçam a disponibilização do P, bem como a escolha correta dos fertilizantes e suas doses, podem aumentar a eficiência da adubação fosfatada e tornar o sistema mais sustentável. Ramos et al. (2010) concluíram que sem o cultivo prévio de gramíneas, a maior produção de feijão ocorreu com a aplicação de superfosfato simples (SFS), uma fonte solúvel de P. Entretanto, quando no uso de uma fonte menos solúvel (fosfato reativo de Arad) a sucessão gramíneas/feijão resultou no aumento da produção em comparação ao não cultivo prévio de plantas de cobertura.

Outro benefício da presença de compostos orgânicos, seja pela sua adição direta ou pelo plantio de culturas de cobertura, está relacionado à movimentação do P, mesmo que em proporções menores que o K ou N. Corrêa et al. (2004) observaram que espécies de cobertura influenciam a movimentação do P no perfil do solo ao avaliarem doses de P e resíduos de plantas de cobertura. Gebrim et al. (2010) observaram maior percolação do  $P_o$  e que o uso da cama de aviário em solos pré-tratados com P aumentou a percolação principalmente de  $P_o$ , mostrando a baixa interação com o solo. Quando feitas adições de fosfato solúvel num Latossolo Vermelho argiloso sob sistema plantio direto (SPD) ocorreu o aumento dos teores de  $P_i$  e a diminuição do  $P_o$  (Conte et al., 2003). Porém, quando não há fornecimento de fertilizantes, o  $P_o$  é o principal fornecedor de P às plantas (Gatiboni et al., 2007).

Por todas as dificuldades que se enfrentam no manejo da adubação fosfatada em solos tropicais como a adsorção e fixação, a precipitação e a baixa mobilidade no solo, o momento e o modo de aplicação merece atenção. A recomendação na maioria das situações de aplicação de fosfato é que seja feita no sulco de plantio e no momento da semeadura. Também pelas características das raízes das plantas se desenvolverem próximo da região do solo onde há maior disponibilidade de P, Costa et al. (2009) concluíram que as concentrações de P disponíveis e a densidade de raízes foram maiores nas camadas superiores e diminuíram com a profundidade, acompanhando os teores de P.

Devido às características das diferentes classes de solos, cada solo individualmente pode atuar como fonte ou dreno de P. Solo fonte é quando a soma do P-solo e P-fertilizante é favorável para utilização pelas plantas. Já no conceito de dreno, há competição entre o

solo e a planta pelo P-fertilizante adicionado, o que é mais comum entre os solos de clima tropical. Em muitos casos, o dreno-solo é maior que o dreno-planta (Novais e Smyth, 1999), fazendo com que a adição via adubação muitas vezes não consiga suprir a demanda da cultura.

## **2.2 FONTES INORGÂNICAS DE P**

A rocha fosfática é a principal matéria prima para produção de fertilizantes fosfatados, além de poder ser aplicada diretamente ao solo como fertilizante. As principais rochas-fonte são as apatitas e fosforitas, que não são abundantes na crosta terrestre além de serem recursos não renováveis. Ao longo das últimas décadas, muito se especulou sobre a longevidade das reservas e bases de reserva de P pelo mundo. Algumas dessas estimativas apresentam 93 e 291 anos (USGS, 2009) como tempo para que reservas e bases de reserva estejam exauridas. Já Van Kauwenbergh et al. (2013), mais recentemente, estimaram que a longevidade de reservas e bases de reserva mundiais de rocha fosfática é de mais 300 e 1400 anos, respectivamente. Dessa forma, pelo menos para um futuro próximo há garantias de fornecimento de rochas fosfáticas para agricultura. Entretanto, como essas informações são muito desconhecidas e muitas vezes confidenciais (Fixen, 2009), com o tempo novas fontes de fosfato, bem como novos estudos sobre as fontes conhecidas podem apresentar novas perspectivas relacionadas à sua longevidade (Mayer et al., 2016; Withers et al., 2018).

A maior parte do P utilizado na adubação de culturas está na forma de fertilizantes minerais, como o fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP), SFS e o Superfosfato Triplo (SFT) (Reetz Jr, 2016). São fertilizantes que possuem altas concentrações de  $P_2O_5$  (MAP com 48-50% e SFS com 18-21%, por exemplo) e elevada solubilidade devido aos processos de fabricação. Além desses, outros fertilizantes fosfatados minerais são aplicados na agricultura, entre eles os termofosfatos, os fosfatos naturais reativos, os fosfatos parcialmente acidulados e o ácido fosfórico (Malavolta et al., 2002; SBCS/NEPAR, 2017).

O processo de fabricação da maioria dos fertilizantes fosfatados parte de algum tratamento de rochas fosfáticas, geralmente apatitas, podendo ser processos químicos, físicos, térmicos ou do conjunto deles. Esses tratamentos visam o aumento da solubilidade das rochas fosfáticas e também de subprodutos utilizados na fabricação dos fertilizantes

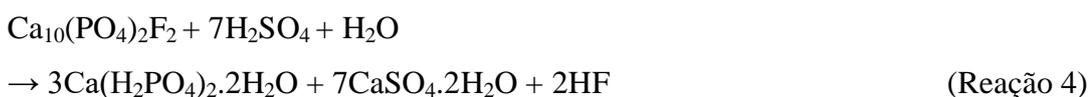
(Rajan e Watkinson, 1992). Dessa forma, apatitas que são rochas ígneas com baixa solubilidade e alta concentração de P resultam em fertilizantes com solubilidade elevada. Um dos processos mais simples é o de moagem da rocha fosfática sedimentar à granulometria muito fina para fabricação de fosfatos naturais. Outro é o tratamento térmico, que leva à produção dos termofosfatos. O mais utilizado na indústria é tratamento com ácido sulfúrico ou fosfórico que dá origem aos fosfatos de alta solubilidade (Reetz Jr, 2016).

Os fosfatos solúveis são, praticamente, todos derivados da reação do ácido fosfórico com outros compostos químicos. Inicialmente é necessária a produção do ácido fosfórico que é obtido por meio do tratamento químico de uma rocha fosfática com ácido sulfúrico. Na Reação 3 está o exemplo do ataque com ácido sulfúrico a uma fluorapatita. Nessa reação são produzidos 3 produtos, o ácido fosfórico, o ácido fluorídrico e o gesso. De forma muito semelhante à produção do ácido fosfórico, o SFS (Reação 4) é produzido por meio do ataque com ácido sulfúrico à rocha fosfática, porém com uma quantidade menor de ácido sulfúrico que resulta nos produtos fosfato monocálcico, gesso e ácido fluorídrico. Da mistura de fosfato monocálcico com o gesso, em uma proporção 1/2, resulta o SFS. Para a produção do SFT (Reação 5) a rocha fosfática é atacada com o ácido fosfórico, que também tem como produto a produção de ácido fluorídrico. Uma vantagem que o SFS e o SFT possuem é que ambos são fonte de cálcio e o SFS também é fonte de enxofre. A reação do ácido fosfórico com a amônia (Reações 6 e 7) resultará na produção do MAP e DAP, que são fonte de P e N.

#### Ácido Fosfórico



#### Superfosfato Simples



#### Superfosfato Triplo



MAP (Fosfato Monoamônico)



DAP (Fosfato Diamônico)



Mesmo com muitas opções de fertilizantes fosfatados inorgânicos no mercado, as características dos solos tropicais podem diminuir muito a eficiência desses fertilizantes quando aplicados sem critérios técnicos. Dessa forma, nem sempre os fertilizantes mais solúveis serão os mais eficientes. Motomiya et al. (2004) em aplicação de fosfatos na cultura da soja em Latossolo Vermelho distroférico, observaram que quando aplicado em sulco de plantio, o SFT foi capaz de promover maior produção de soja do que o fosfato de Gafsa. Porém, a aplicação a lanço não resultou em diferença de produção entre os fertilizantes. Fontoura et al. (2010) avaliando o efeito imediato e residual dos fertilizantes fosfatados observaram que o SFT é mais eficiente que fosfatos naturais reativos em ambos os casos. Entretanto, Resende et al. (2006), concluíram que fontes menos solúveis de P foram se mostrando mais efetivas ao longo de três anos, por proporcionar melhor custo/benefício. Oliveira Junior et al. (2011), em trabalho de dois anos, observaram que a aplicação associada de fosfato de rocha Arad e SFT é uma opção viável. Em ambos os casos, o efeito residual provocado pela lenta solubilidade dos fosfatos de rocha, resultou em eficiência agrônômica semelhante aos fosfatos solúveis em longo prazo. Há vantagens econômicas também, uma vez que esses fertilizantes apresentam preços inferiores aos acidulados. Entretanto, para que a eficiência dos fosfatos naturais seja maior, há necessidade de aumentar sua velocidade de solubilização no solo e essa reação é favorecida pela acidez com aplicação na forma de pó ou farelada (Malavolta, 1981).

Embora o uso de fontes inorgânicas de P, que não as solúveis, sejam alternativas economicamente mais viáveis, essas continuam sendo provenientes de reservas minerais. Ainda que pesquisas recentes venham mostrando uma nova realidade para o futuro das fontes de P, o uso de fontes orgânicas continua sendo a alternativa com maior potencial para que se consiga diminuir a dependência completa de fontes inorgânicas. Entretanto, a adoção de fontes alternativas dependerá do quão eficiente estas serão em comparação às fontes minerais.

## 2.3 FONTES ORGÂNICAS DE FÓSFORO

O uso de fertilizantes orgânicos como uma alternativa para complementação e, em alguns casos, substituição dos fertilizantes minerais, é uma realidade uma vez que muito se especula sobre a longevidade das atuais fontes de P e K, principalmente. Diferente dos adubos inorgânicos solúveis, os orgânicos apresentam liberação lenta do P, uma vez que há necessidade do processo de mineralização, porém a decomposição da matéria orgânica do solo ou de uma fonte orgânica fornece de forma contínua com um mínimo de exposição aos mecanismos de adsorção (Kiehl, 2010; Edwards e Daniel, 1992). A liberação gradual de nutrientes de fontes orgânicas assemelha-se, de certa forma, com a liberação que ocorre nos fosfatos naturais. Bulegon et al. (2012) concluíram que a substituição de parte da adubação nitrogenada mineral em cobertura pela cama de aviário aplicada na cultura antecessora a cultura do milho pode resultar em ganhos de produção e ainda reduzir custos.

Existem várias possibilidades de materiais que apresentam potencial para serem utilizados como fertilizantes orgânicos (Withers et al., 2015). Estes fertilizantes têm, em sua grande maioria, origem vegetal, animal ou uma mistura das duas. Materiais vegetais são compostos de restos de culturas, ramos, folhas, palhas, cascas e adubos verdes que são plantados antecedendo a cultura de interesse. Os de origem animal são representados principalmente pela excreta de animais e guano, podendo também estar nessa classe restos de animais abatidos ou animais mortos. A mistura de restos vegetais e animais e a compostagem resultam em materiais de natureza mista, sendo representada pelas camas de animais, tendo como principal representante a cama de aviário (Kiehl, 2010).

O Brasil ocupa a 2ª e a 1ª posição no ranking mundial de produção e exportação de carne de frango, respectivamente (ABPA, 2018). No ano de 2017, a produção brasileira de carne de frango foi de 13,05 milhões de toneladas (ABPA, 2018). O estado Paraná é o líder na produção, sendo responsável por mais de 34% dos abates no ano de 2017 (ABPA, 2018). Projeta-se que a produção de frango no Brasil aumente 46,4% nos próximos anos (MAPA, 2013), o que trará também aumento na produção de resíduos.

Com base na produção de carne de frango e considerando o peso médio de carcaça de 2,0 kg (OCEPAR, 2007), com uma produção de 1,75 kg de resíduos (base seca) por unidade, no ano de 2017 a produção brasileira de cama de aviário foi de aproximadamente 11,4 milhões de toneladas.

Praticamente toda a cama de aviário produzida no Brasil é utilizada como fertilizante. Dentre os resíduos, os de origem animal apresenta os maiores teores de P e N na massa seca (Pagliari e Laboski, 2012), fornecendo também outros nutrientes e matéria orgânica para o solo (Kiehl, 2010). A composição média das camas de aviário é de 24 a 40, 20 a 35, e 18 a 35 kg m<sup>-3</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente (Konzen e Alvarenga, 2007). Os altos teores de macronutrientes são uma das vantagens que a cama de aviário tem perante outras fontes orgânicas. O índice de eficiência do N, P e K no primeiro cultivo é 50%; 80% e 100%, respectivamente (SBCS/NEPAR, 2017). Embora o P presente na cama de aviário esteja tanto na forma orgânica como inorgânica, o ortofosfato inorgânico é a forma de P predominante em sua fração solúvel em água, independentemente do tipo de material de forração usado na cama (Souza et al., 2012). Ainda segundo Souza et al. (2012), a cama de aviário apresentou altas taxas de mineralização do Po, aumentando a fração de P prontamente disponível para às plantas. Além disso, o tipo de material que compõe a cama de aviário influencia a sua velocidade da mineralização.

Entre 25 e 45% da cama de aviário decompõem-se em 30-35 dias após a incubação (Bratti, 2013; Adami, 2012; Gale e Gilmour, 1986; Castellanos e Pratt, 1981) e 51 e 82% do P da cama de aviário tornam-se disponíveis após 150 e 365 dias da aplicação, respectivamente. Contudo, a liberação de nutrientes pode durar mais de um ano (Pitta et al., 2012). A decomposição relativamente rápida acontece em função da composição de aminoácidos, açúcares e proteínas. Porém, a decomposição tende a desacelerar com o tempo devido à permanência de compostos mais recalcitrantes como lignina e celulose (Giacomini et al., 2003; Heal et al., 1997; Lupwayi et al., 2007). Os microrganismos levam mais tempo para quebrar as estruturas desses compostos, o que resulta na liberação gradual dos nutrientes que compõe a cama de aviário, bem como de outros materiais orgânicos.

Entretanto, as taxas de decomposição e mineralização podem ter grande variação entre as camas de aviário, em função dos materiais utilizados como forração, o número de lotes, o regime de alimentação e qual o tipo de aves que está sendo criada (Bratti, 2013). Souza et al. (2012) observaram que durante 43 dias de incubação 82% do Po da cama de aviário composta por maravalha (aparas de madeira) foi mineralizado e somente 4% na cama formada pelo uso de capim napier. Os teores de nutrientes tendem a aumentar com a elevação dos números de lotes de ocupação, mostrando que os diferentes tipos de camas podem ter teores variados de nutrientes. Ávila et al. (2007), Roppa et al. (2012), Santos (1997) e Fukayama (2008) observaram este comportamento para P e K.

A aplicação de cama de aviário assim como de qualquer outra fonte de nutrientes resultam em aumentos nas concentrações de nutrientes no solo. Aumentos na concentração de P no solo de 18 para 64 e 25 para 125 mg kg<sup>-1</sup> durante 3 e 10 anos após a aplicação de cama de aviário, respectivamente, foram observadas por Mitchell e Tu (2006). Dou et al. (2009) obtiveram graus de saturação por P na faixa de 80 - 90% para solos adubados com resíduos animais, com aumentos do potencial de liberação de P nos solos tratados.

As vantagens da aplicação da cama de aviário ocorrem devido aos efeitos já discutidos e que favorecem a disponibilização de P às plantas. Além de alterar os atributos químicos, a cama de aviário promove outros efeitos benéficos ao solo e em suas propriedades devido a MO adicionada ao solo (Adeli et al., 2008; Singh et al., 2009). Atributos como densidade do solo, estabilidade da estrutura do solo, aumento da porosidade, capacidade de retenção de água (Kingery et al., 1994; Kiehl, 2010), aumento da CTC, pH (Zhang, 1998) e superfície específica são positivamente influenciados. Abdala et al. (2012) estudando o comportamento do P num solo argiloso em resposta a doses crescentes de cama de aviário aplicada na superfície, observaram que, com o aumento das doses de cama de aviário, a CMAP reduziu, sendo mais evidente na maior dose (100 Mg ha<sup>-1</sup>). Este efeito benéfico da aplicação de cama de aviário é justificado pela competição da matéria orgânica com os íons fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo. Além disso, a cama de aviário promoveu um aumento do pH do solo, reduzindo a atividade do Al<sup>3+</sup>.

Ainda que tenha composição química agronomicamente interessante, a cama de aviário apresenta outras características que dificultam sua utilização. As quantidades de P que os fertilizantes orgânicos conseguem fornecer prontamente para as culturas, muitas vezes está bem abaixo da necessidade das plantas. Isso faz com que a dose que necessita ser aplicada seja muito grande, inviabilizando sua utilização. Sua aplicação no solo ainda é dificultada visto que é um material fisicamente e quimicamente muito heterogêneo, o que é desvantagem quando comparado aos fertilizantes inorgânicos. Porém, processos que promovem a granulação ou peletização melhoram a qualidade física do fertilizante possibilitando sua aplicação com semeadura e outros implementos utilizados na aplicação de fertilizantes minerais.

## 2.4 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

Os fertilizantes organominerais são originados da combinação de uma fonte orgânica de nutrientes com um ou mais fontes de fertilizantes minerais (Kiehl, 1993). Independentemente do processo de fabricação, todas as formas dos fertilizantes organominerais resultam em uma mistura física destes fertilizantes. Para ser considerado um fertilizante organomineral, o mesmo precisa atender a garantias conforme instrução normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009 (IN 25/2009), as quais sejam de que a soma de  $N + P_2O_5 + K_2O$  componham no mínimo 10%, mínimo de 8 % de carbono orgânico (CO), mínimo de 80 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de capacidade de troca catiônica (CTC) e máximo de 25% de umidade (MAPA, 2009).

Desde que sejam verificadas as incompatibilidades dos fertilizantes minerais, praticamente todos podem ser utilizados na produção de fertilizantes organominerais. Com relação aos fertilizantes orgânicos, há uma grande variedade de fontes que podem ser utilizadas na produção dos fertilizantes organominerais. A turfa, lodo de esgoto, cama de aviário, dejetos suíno e bovino, compostagem de lixo e resíduos vegetais, torta de filtro de produção de açúcar e álcool, linhito entre outros são alguns dos mais comuns (Kiehl, 1993, 2010; Malavolta et al., 2002). Os fertilizantes de origem animal apresentam maiores teores de P e N em sua composição (Pagliari e Laboski, 2012), em comparação os demais, além de serem fonte de outros nutrientes e CO (Kiehl, 2010). Destaca-se que a cama de aviário apresenta teores médios de 24 a 40, 20 a 35 e 18 a 35 kg m<sup>-3</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente (Konzen e Alvarenga, 2007).

Uma vez que os fertilizantes organominerais são resultantes de uma mistura de bases minerais e orgânicas, várias são as possibilidades de processos de fabricação. Nos principais processos de fabricação, os fertilizantes orgânicos e minerais são moídos para facilitar a homogeneização, em seguida são misturados em proporções que resultem na formulação desejada e são finalizados, na maioria das vezes passando pelo processo de granulação ou peletização. Quando fabricados dessa forma, cada grânulo ou pellet é homogêneo quanto a sua composição.

Outro tipo de fertilizante organomineral muito comum é o de mistura de grânulos. Neste fertilizante, a cama de aviário é moída e peletizada ou granulada isoladamente dos adubos minerais e em seguida esses grânulos ou pellets são misturados a um fertilizante mineral granulado tradicional (Sakurada L. et al., 2016).

A possibilidade de agrupar os benefícios dos fertilizantes orgânicos e inorgânicos em um único produto é um dos principais objetivos dos fertilizantes organominerais. Apresentar concentração de nutrientes conhecida, homogeneidade de tamanho de partículas, fornecimento rápido de nutrientes da parte inorgânica e o fornecimento lento e contínuo de nutrientes são características que facilitam seu manejo e aplicação no campo. Um importante benefício que os fertilizantes organominerais apresentam frente aos orgânicos é a possibilidade de se produzir formulações, como nos inorgânicos, aumentando as concentrações de nutrientes e reduzindo o custo de transporte (Trani et al., 2013). Além disso, os organominerais, em sua maioria, apresentam características que possibilitam sua aplicação com os implementos atualmente utilizados pela maioria dos produtores brasileiros.

Embora a maior parte dos atributos físicos favoreçam seu uso e aplicação da mesma forma que os fertilizantes minerais, os processos de fabricação dos fertilizantes organominerais podem resultar em características intrínsecas distintas. Conseqüentemente, quando aplicados em culturas, os diferentes tipos de fertilizantes poderão promover resultados distintos. Sakurada L. et al. (2016) observaram que o processo de granulação dos fertilizantes organominerais resulta em solubilidade mais lenta quando comparado ao processo de mistura de grânulos e conseqüentemente em menor absorção de P pela cultura do milho. A menor solubilidade foi constatada após cultivos sucessivos de milho em que os resíduos do fertilizante organomineral granulado apresentaram as maiores concentrações de P.

Análises que meçam mais características dos fertilizantes organominerais são importantes para se compreender quais são os fatores que podem influenciar seus diferentes comportamentos. Mazeika et al. (2016) analisando as características dos fertilizantes organominerais, por meio de análise de difratometria de raios-X (DRX), observaram que a formulação com DAP e cama de aviário formam novos compostos fosfatados devido à reação com minerais presentes na cama de aviário.

Sakurada L. et al. (2019) ao analisarem o resíduo de fertilizantes organominerais após cultivos sucessivos de milho em vasos, verificaram a presença de fosfatos de Al e Ca além de outros minerais. Neste estudo, o tipo granulado de fertilizante organomineral foi o que gerou mais tipos de fosfatos de Al quando comparado à mistura de grânulos. Devido à baixa solubilidade dos fosfatos de Al, a tendência é que estes permaneçam nos resíduos dos fertilizantes enquanto as formas mais solúveis não apareçam mais. E isso se confirmou por

meio das análises químicas que mostraram que o fertilizante organomineral granulado apresentou os maiores teores de P nos resíduos dos fertilizantes (Sakurada L. et al., 2019). Nota-se que os processos de granulação e peletização das fontes minerais e orgânicas moídas promovem reações mais intensas entre os compostos que resultam em menor solubilidade do P.

Sakurada L. et al. (2016) avaliaram a eficiência agronômica e o efeito residual de dois fertilizantes organominerais e um mineral, ambos à base de MAP, durante quatro cultivos sucessivos de plantas de milho em vaso, observaram que a granulação do organomineral resultou em menor produção de massa seca da parte aérea enquanto que a mistura de grânulos apresentou comportamento semelhante ao fertilizante mineral. A aplicação do fertilizante organomineral granulado resultou na menor absorção de P pelas plantas de milho e índices de recuperação de P do segundo cultivo em diante foram menores em comparação à mistura de grânulos e o mineral. Sá et al. (2017), em trabalho semelhante em dois tipos de solo, observaram maior produção de massa seca em plantas de milho adubadas com fertilizante organomineral no primeiro cultivo, mas não nos demais cultivos quando comparado somente com MAP. Frazão et al. (2019) observaram que o fertilizante organomineral promoveu maior produção de massa seca da parte aérea somente em solo arenoso quando comparado SFT enquanto que em solo argiloso não houve diferença entre as fontes.

Lana et al. (2014) avaliando um fertilizante organomineral a base de MAP e ácidos húmicos na cultura do milho, não observaram diferenças na produtividade e nos componentes de produção. Deeks et al. (2013) também não observaram diferenças significativas entre os organominerais, à base de dejetos suíno e os inorgânicos em várias culturas. Entretanto, Martins et al. (2017), não observaram diferença de produção entre fertilizantes organominerais com SFT ou fosfato reativo e SFT na cultura do milho; na cultura do feijão plantado em sequência, sem adição de fertilizantes, o organomineral com SFT apresentou maior produtividade e P acumulado nos grãos. Entretanto, a escolha com base no tipo de fertilizante organomineral é importante, uma vez que isso pode resultar em diferentes velocidades de liberação de nutrientes (Sakurada L. et al., 2016).

Os resultados experimentais têm demonstrado o potencial que os fertilizantes organominerais apresentam, sendo passíveis de utilização nas culturas substituindo os fertilizantes inorgânicos. Borges et al. (2015), observaram maior produtividade de soja fertilizada com organomineral de cama de aviário quando comparado ao fertilizante

mineral, mas não foi observada diferença para o milho cultivado em sequência com reaplicação dos tratamentos. Smith et al. (2015) observaram que as produtividades de trigo, cevada e milho são semelhantes com fertilizantes organomineral ou mineral. Ojo et al. (2014), obtiveram melhores resultados na produção de melancia quando adubado com organomineral. Entretanto, Antille et al. (2017), em experimento de 4 anos, avaliando a aplicação de organominerais em função de doses de N na cultura do trigo observaram que o trigo tratado com fertilizantes organomineral apresentou produtividade de grãos maior que o tratado com logo de esgoto granulado, porém, menor produtividade quando comparado à ureia.

Ainda que trabalhos já apresentem resultados positivos com a aplicação de fertilizantes organominerais, poucos experimentos de longa duração exploram o benefício do fertilizante organomineral e potencial residual ao longo do tempo (Benites et al., 2010). Dessa forma, é importante verificar o efeito que a aplicação contínua de fertilizantes organominerais traz ao sistema e como sua eficiência se comporta.

## **2.5 FÓSFORO NA PLANTA**

O fósforo é o macronutriente primário exigido em menor quantidade pelas plantas e ao mesmo tempo é um dos aplicados em maiores quantidades na adubação das culturas. Essencial para o desenvolvimento das plantas, o P exerce funções estruturais e metabólicas, representando de 1,0 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> da matéria seca (Malavolta et al., 1997; Marschner, 2012). Após sua absorção, o P permanece na forma oxidada e é rapidamente assimilado e incorporado aos compostos da planta. Entretanto, pode ser encontrado nas plantas tanto na forma orgânica como na forma inorgânica (Araújo e Machado, 2006; Souza et al., 2007).

O Po encontra-se presente como componente estrutural de ácido desoxirribonucleico (DNA) e ácido ribonucleico (RNA) e na forma P-diésteres nos fosfolipídeos das membranas. Além de estruturalmente presente, um dos papéis mais importantes que o P exerce dentro do metabolismo das plantas está ligado à transferência de energia, como por meio de moléculas de adenosina trifosfato (ATP) (Epstein e Bloom, 2004). O composto ATP está presente na maioria dos processos que requerem gasto de energia na planta, como a absorção ativa de nutrientes, a ativação de aminoácidos e a fixação biológica do nitrogênio (FBN). Também age em outros processos como fator

regulatório na fotossíntese e no metabolismo oxidativo, participando na transdução de sinais, processo de fosforilação, reações redox, ativação e desativação de enzimas e metabolismo de carboidratos (Hawkesford et al., 2012).

O P pode ser acumulado nas plantas e sementes. Esse acúmulo se dá na forma de compostos chamados fitato e polifosfato inorgânico, que além de fornecer nutrientes, podem também ser uma reserva de energia (Bassiri e Nahapetian, 1977; Hawkesford et al., 2012). O Pi também apresenta algumas funções como armazenamento e funções regulatórias. O vacúolo é o principal compartimento de acúmulo de Pi em plantas adequadamente supridas e funciona como um reservatório não metabólico de P, dessa forma, o Pi vacuolar se modifica de modo a tamponar o Pi citoplasmático permitindo que sua concentração permaneça constante (Grant et al., 2001; Araújo e Machado, 2006).

O P é um elemento ligado a importantes processos metabólicos e em variadas partes da planta. Assim, em momentos de deficiência do nutriente em determinada região, ocorre a translocação de outras regiões para a região deficiente. Essa dinâmica dentro da planta deve-se à grande mobilidade do P. De modo que as folhas mais velhas apresentam sintomas de P inicialmente e conforme a falta do nutriente perdura, os sintomas evoluem para as partes mais jovens da planta (Wallace, 1951; Malavolta, 1997). No xilema, o P é transportado predominantemente na forma inorgânica, mas também pode apresentar-se na forma de fosforil colina e ésteres. No floema sua alta mobilidade ocorre na forma de fosforil colina e na forma de Pi, permitindo que o Pi dos vacúolos sejam redistribuídos em momentos de redução do suprimento de P (Grant et al., 2001; Araújo e Machado, 2006; Santos et al., 2008).

Os sintomas de deficiência de fósforo geralmente estão associados ao mal desenvolvimento e por consequência o atrofiamento de plantas, de modo que as plantas ficam “nanicas”. Outra característica é coloração verde escuro e em alguns casos arroxamento das folhas, que podem ser malformadas e conter manchas necróticas, além de retardar a maturação dos frutos (Taiz e Zeiger, 2004; Frydenvang et al., 2015).

## **CAPÍTULO III**

### **Adubação fosfatada utilizando fertilizantes organominerais na cultura da soja**

#### **3.1 RESUMO**

Os fertilizantes organominerais são uma alternativa aos fertilizantes minerais, além de possibilitarem a destinação sustentável dos resíduos orgânicos. Por isso, avaliar o efeito que diferentes tipos de fertilizantes organominerais exercem no solo e na disponibilização do fósforo (P) contribui para a melhoria na sua eficiência, bem como para consolidar e potencializar seu uso agrícola em grande escala. O objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito de diferentes fertilizantes organominerais e um fertilizante mineral, nas doses recomendadas (100%) e reduzidas a 66%, com base na disponibilidade do P no solo, em atributos químicos relacionados com sua disponibilidade e na eficiência agrônômica na cultura da soja durante 3 safras. O experimento foi implantado na Unidade de Difusão de Tecnologia, na cidade de Floresta – PR, num Latossolo Vermelho eutrófico de classe textural muito argilosa. O delineamento experimental adotado foi de blocos completos com tratamentos casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 2 + 1$  (Fertilizante  $\times$  Dose + Testemunha). O fator Fertilizante é composto por um fertilizante mineral formulado com mistura de grânulos (IM), um fertilizante organomineral granuloso (OG), um fertilizante organomineral em mistura de grânulos (OM) e um fertilizante organomineral peletizado (OP), sendo os dois últimos fabricados com cama de aviário. O fator Dose é composto por dose recomendada e dose reduzida tendo como referência a dose de P exigida para a obtenção de elevadas produtividades da cultura da soja. O experimento foi conduzido durante três safras de soja em 2014/15, 2015/16 e 2016/17. As amostragens de solo foram realizadas após as colheitas das culturas de inverno, nas camadas de 0 – 10 cm (A) e 10 – 20 cm (B). Foram analisados P-Mehlich-1 (Ps), P remanescente (Prem) e carbono orgânico do solo (COS), P total nas folhas (Pf) e grãos (Pg), massa de mil grãos (MMG), produtividade (Prod), produtividade acumulada (SProd), P exportado (Pexp), índice de exportação de P (IEP) e índice de eficiência agrônômica (IEA). Houve resposta da cultura da soja à adubação fosfatada mesmo com alto nível de P no solo. Os fertilizantes organominerais e mineral não diferiram com relação à produção de grãos, eficiência na

produção de soja e Ps. O fertilizante OG demonstrou ser mais eficiente quando comparado ao OM e o OP. Os fertilizantes organominerais não apresentaram capacidade de elevar os teores de COS. A variável P foliar foi a que apresentou melhor relação com os resultados de produtividades.

**Palavras chave:** cama de aviário, turfa, adubação, fósforo, eficiência.

### **3.2 ABSTRACT**

#### **Phosphate fertilization using organomineral fertilizers in soybean crop**

Organomineral fertilizers are an alternative to mineral fertilizers, as well as make provision for sustainable disposal of organic waste. Therefore, the evaluation of the effect that different types of organomineral fertilizers exert on the soil and on the phosphorus (P) availability can increase its efficiency, consolidate and potentiate its agricultural use on a large scale. The objective of the present work was to verify the effect of different types of organomineral and mineral fertilizers in recommended (100%) and reduced (66%) P rates, the P availability in the soil as well as the behavior of other chemical soil attributes related to its availability and to evaluate the agronomic efficiency in soybean during 3 crop seasons. The experiment was implemented in the Technology Diffusion Unit (UDT), in Floresta city, in a very clayey Eutropherric Red Latosol. The experimental design was of complete blocks with randomized treatments, in a factorial scheme  $4 \times 2 + 1$  (Fertilizer x Rate + control). The Fertilizer Factor is composed of an inorganic granule mixture fertilizer (IM), an peat organomineral granulated fertilizer (OG), an organomineral granule mixture fertilizer (OM) and an organomineral pelletized fertilizer (OP), the last two made with poultry litter. The Rate Factor is composed of recommended and reduced P rate. The normal P rate was defined considering the recommendation of P for high soybean production. The experiment was conducted during three soybean crop seasons (2014/15, 2015/16 and 2016/17). The soil samples were collected after winter crops harvesting at 0 - 10 cm (A) and 10 - 20 cm (B) layers. The evaluated parameters were P-Mehlich-1 (Ps), remaining P (Prem), soil organic carbon (COS), total P in leaves (Pf) and grains (Pg), thousand grain mass (MMG), productivity (Prod) accumulated productivity (SProd), exported P (Pexp), P export index (IEP) and agronomic efficiency index (IEA). The

phosphate fertilization proved to be efficient for soybeans even with high soil P levels. The organomineral and mineral fertilizers did not differ in relation to grain production, soybean production efficiency and Ps. The OG fertilizer was the most efficient organomineral fertilizer compared to OM and OP. The organomineral fertilizers were not able to raise COS levels. The Pf variable presented better relation with the Prod results.

**Key words:** Poultry litter, peat, fertilization, phosphorus, efficiency.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Os Latossolos correspondem a mais de 30% dos solos do estado do Paraná e 31% do território brasileiro (Santos et al., 2011). São solos característicos de regiões de clima tropical, como a maioria dos solos brasileiros, sendo conhecidos por apresentarem estágios avançados de intemperismo (Oliveira, 2005) e de baixa fertilidade natural. Algumas características desses solos são acidez elevada, baixa disponibilidade de nutrientes, baixos teores de matéria orgânica do solo (MOS), elevados teores de óxidos de Fe e Al,  $Al^{3+}$  trocável e fração argila composta de minerais de baixa atividade que resulta em baixa capacidade de troca catiônica (CTC) (Novais e Smyth, 1999; Fink et al., 2016a). Entretanto, possuem atributos físicos que favorecem a atividade agrícola (Coelho et al., 2017), tornando viável a construção da fertilidade desses solos.

Dentre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, o fósforo (P) é o elemento que mais limita a produção das culturas em solos tropicais, juntamente com o nitrogênio (N). Desta forma, o fornecimento de P ao solo por meio de fertilizantes é necessário para que se consiga iniciar e atingir o desenvolvimento pleno das culturas e por consequência atingir seus potenciais de produtividade (Grant et al., 2001).

As reduzidas concentrações de P nos solos tropicais ocorrem primeiramente pela pobreza do mesmo no material de origem. Além disso, o P reage com os colóides do solo (óxidos de Fe e Al) e com os cátions livres de  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$  que limitam sua disponibilidade. Assim, mesmo que presente no solo, o P pode estar na forma não lábil, bem como a aplicação de P por meio dos fertilizantes fosfatados solúveis (p.e. fosfato monoamônico – MAP e fosfato diamônico – DAP) em solos com alta capacidade de fixação podem torná-los rapidamente indisponíveis, ou seja, não-lábeis (Novais e Smyth, 1999). As reações de adsorção progridem reduzem a disponibilidade do P, uma vez que, as reações com as superfícies de óxidos de Fe ou Al promovem troca de ligantes de um íon fosfato

substituindo um grupo  $\text{OH}^-$  ou  $\text{OH}^{2+}$  dos óxidos, formando uma ponte binuclear ou bidentada (Meurer, 2004; Brady e Weil, 2012). As ligações bidentadas apresentam um elevado grau de estabilidade e resultarão na formação dos chamados complexos de esfera interna, fazendo com que o fosfato fique cada vez mais indisponível (Sposito, 2008; Brady & Weil, 2012).

Nos solos tropicais, a aplicação de P é fundamental para obtenção de produtividades adequadas das culturas. Além disso, o correto manejo do solo por meio da calagem, adição e manutenção da MOS são importantes para favorecer a disponibilidade do P (Novais e Smyth, 1999). O aumento da MOS promove melhoria na disponibilidade do P às plantas devido ao P fazer parte da constituição da MOS e pela competição dos ácidos orgânicos com sítios de adsorção de P (Shen et al., 2011; Fink et al., 2016a). A maior parte dos fertilizantes fosfatados é proveniente de fontes minerais e não renováveis (Fixen, 2009), possibilitando elevação nos preços dos fertilizantes fosfatos, tornando o custo de produção mais alto. Assim, o uso de fontes orgânicas de P é uma das alternativas ao P mineral, com a vantagem de promover a ciclagem do P nos sistemas de produção agropecuários.

Dentre as fontes orgânicas, a cama de aviário apresenta um grande potencial, devido à disponibilidade e concentração relativamente alta de P em sua composição, apesar da elevada variabilidade (Sonoda, 2011). O Brasil é um dos maiores produtores de carne de frango, sendo o estado do Paraná o maior produtor nacional, produzindo elevadas quantidades de cama de aviário. As características físicas e químicas da cama de aviário, tais como, granulometria irregular, heterogeneidade de distribuição do P dentro do lote, umidade elevada, odor forte e desagradável, densidade baixa, entre outros, seu transporte a longas distâncias tem limitado seu uso mais amplo. A reduzida concentração de P comparado às fontes minerais faz com que o fornecimento de P exclusivamente pela cama de aviário exija a aplicação de grandes quantidades, potencializando problemas ambientais e de logística de aplicação (Bernhart et al., 2010; Beusen et al., 2016). Neste sentido, o uso de cama de aviário para a elaboração de fertilizante organominerais é uma opção para contornar tais problemas.

O fertilizante organomineral é um produto da mistura física de um fertilizante orgânico com um de natureza mineral (Kieh, 1993). A presença de compostos orgânicos favoreceria a disponibilidade do P no solo (Hua et al., 2008) em decorrência da menor

susceptibilidade do P aos processos de adsorção e fixação irreversível ocasionado pela presença de matéria orgânica.

Há escassez de pesquisas abordando a adubação organomineral, seus efeitos no solo e no desenvolvimento das culturas. Em 2010, estimava-se que os organominerais representavam cerca de 17% do mercado de fertilizantes no Brasil e que a perspectiva de crescimento fosse de 10% ao ano (Benites et al., 2010). Embora o crescimento de empresas produtoras de fertilizantes organominerais de 2015 para 2018 tenha sido de aproximadamente 70% (Abisolo, 2015; Abisolo, 2018), a consolidação do uso e comercialização de organominerais demanda maior conhecimento técnico-científico a respeito do seu comportamento no solo para aprimorar as práticas de uso e manejo (Cruz et al., 2017). As diferenças existentes entre os tipos de matéria prima, suas características e o quão eficiente cada uma será em função das diferentes formas de fabricação são informações importantes que ainda não estão completamente esclarecidas.

Atualmente as recomendações de fertilizante organominerais têm sido feitas para uso de 50 – 60% da dose indicada dos fertilizantes minerais, admitindo-se uma possível maior eficiência dos fertilizantes organominerais. Entretanto, com os resultados disponíveis na literatura ainda não é possível fazer tais afirmações. Vários tipos de fertilizantes organominerais bem como os diferentes materiais que os compõem, podem conduzir a diferentes resultados, conforme as condições em que forem utilizados.

Sakurada L. et al. (2016) avaliaram o efeito de fertilizantes organominerais e minerais fosfatados no desenvolvimento inicial da cultura do milho em cultivos sucessivos e relataram que o modo como os fertilizantes organominerais são produzidos resulta em alterações na disponibilidade de P. De acordo com os autores, a granulação do fertilizante organomineral resulta em uma liberação mais lenta do P enquanto que a mistura de grânulos de fertilizante organominerais comporta-se de maneira similar ao fertilizante mineral em mistura de grânulos. Antille et al. (2017) observaram que o trigo adubado com organomineral apresentou produtividade de grãos maior que o adubado com lodo de esgoto granulado. Já Correa et al. (2016) observaram que o fertilizante organomineral promoveu maior produtividade acumulada de milho e trigo comparado aos fertilizantes orgânicos e minerais em um Nitossolo Vermelho distroférico.

Outros trabalhos têm apresentado resultados com maiores produções com o uso de fertilizante organominerais em soja (Borges et al., 2015), milho (Smith et al., 2015; Sá et al., 2017; Frazão et al., 2019), melancia (Ojo et al., 2014), trigo e cevada (Smith et al.,

2015). Entretanto, Couto (2011) e Ferreira (2014) verificaram que as fontes solúveis de P, (MAP e superfosfato triplo - SFT) promoveram maior produção de massa seca da parte aérea em comparação aos organominerais na cultura do milho. Enquanto Lana et al. (2014) e Deeks et al. (2013) não verificam diferenças de produtividade entre o uso de fertilizantes organominerais e minerais. Martins et al. (2017) observaram maior produtividade com o uso de fertilizante organomineral em comparação ao mineral somente na cultura do feijão, enquanto para soja e milho não foram constatadas diferenças.

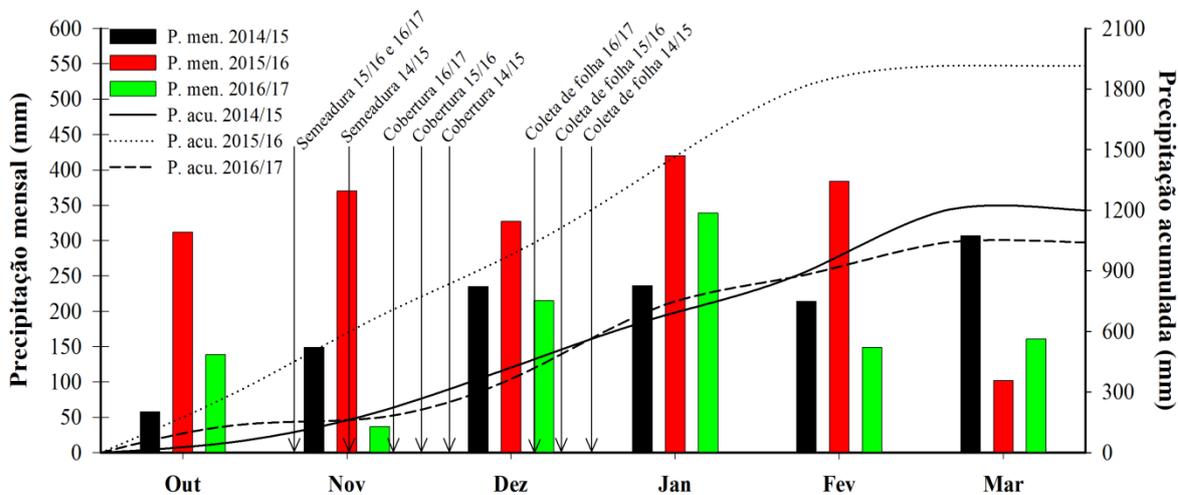
Mesmo que o fornecimento de nutrientes aos solos por si só já represente um benefício e um aumento de sua fertilidade e produção das culturas (Sakurada L. et al., 2016; Correa et al. 2004; Frazão et al., 2019), há que se atentar para as condições que podem favorecer ou não cada tipo de fertilizante. Compreender os benefícios que cada tipo de fertilizante pode trazer ao solo resultará no uso mais eficiente e economicamente viável, principalmente para sua aplicação em culturas de grande interesse econômico.

A hipótese do presente trabalho é que a eficiência do fertilizante fosfatado organomineral não difere do fertilizante mineral quando aplicados sob mesmas condições de solo, planta e dose, independente do processo de fabricação utilizado. Desta forma, foi desenvolvido um experimento com o objetivo de verificar o efeito da aplicação de diferentes tipos e doses de fertilizantes organominerais e mineral na disponibilidade do P no solo e de outros atributos químicos do solo que podem influenciar em sua disponibilidade e avaliar a eficiência agrônômica desses fertilizantes quando aplicado na cultura da soja por três safras consecutivas.

### **3.4 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi implantado na Unidade de Difusão de Tecnologia (UDT) pertencente à COCAMAR Cooperativa Agroindustrial, localizada na cidade de Floresta-PR, altitude de 392 m. O clima é classificado como subtropical úmido (Cfa) com média do mês mais quente superior a 22°C e no mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca definida, verão quente, geadas menos frequentes e com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm (Caviglione et al., 2000). Os dados de temperatura média mensal e precipitação acumulada mensal do período de condução do experimento estão apresentados na Figura 1. A precipitação entre 10/2014 e 9/2015 foi de 2158 mm; de 10/2015 a 09/2016 foi de 2614

mm; e de 10/2016 a 09/2017 de 1784 mm. A temperatura média anual foi de 24, 23 e 24°C, para o período experimental.



**Figura 1.** Precipitação média mensal e acumulada mensal do período de condução do experimento (05/2014 a 12/2017), em Floresta-PR.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, classe textural muito argilosa (Bhering e Santos, 2008). Na área experimental, a semeadura direta está implementada há mais de 20 anos. As características químicas e granulométricas do solo estão apresentadas na Tabela 1. Os teores de P disponível no solo, extraído com Mehlich-1, para as camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm estavam em níveis considerados altos (SBCS/NEPAR, 2017).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos com tratamentos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 + 1 (Fertilizante x Dose + Testemunha) com 4 repetições. O fator Fertilizante é composto de três fertilizantes organominerais e um mineral; o fator Dose é composto por dose recomendada (100%) e dose reduzida de P, sendo a dose reduzida equivalente a 66% da dose recomendada. A dose reduzida, 66% da dose recomendada, foi definida com base na possível maior eficiência que a presença de materiais orgânicos poderia agregar ao fertilizante organomineral. Além disso, foi levado em consideração às recomendações que os fabricantes de fertilizantes organominerais,

sendo recomendadas doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O de até 50% mais baixo que as doses recomendadas para os fertilizantes minerais.

**Tabela 1.** Atributos químicos e granulometria do solo da Unidade de Difusão de Tecnologia (UDT) antes da instalação do experimento nas camadas de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm e 0 – 20 cm. Floresta-PR (2015).

Parâmetros	Unidades	Valores		
		0-10 cm	10-20 cm	Média 0-20 cm
<sup>1</sup> pH <sub>CaCl2</sub>	-	5,1	5,2	5,15
Al <sup>3+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	0,00	0,00
H+Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,44	3,97	4,21
Ca <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,84	3,79	4,32
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,11	0,91	1,01
K <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,29	0,07	0,18
CTC	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,68	8,73	9,71
V	%	58,43	54,64	56,54
<sup>2</sup> COS	g dm <sup>-3</sup>	14,23	8,82	11,53
MOS	g dm <sup>-3</sup>	24,53	15,20	19,87
P	mg dm <sup>-3</sup>	10,76	13,52	12,14
P-rem	mg dm <sup>-3</sup>	17,56	20,19	18,88
S	mg dm <sup>-3</sup>	2,94	2,99	2,97
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	13,86	17,70	15,78
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	3,93	6,15	5,04
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	38,07	75,54	56,81
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	75,85	67,04	71,45
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,14	0,14	0,14
Areia	%	15,0	24,0	19,50
Silte	%	16,0	14,0	15,00
Argila	%	69,0	62,0	65,50

pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> 2,5:1; Matéria orgânica (Walkley-Black); P e K: Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>: KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; H+Al: SMP (Pavan et al., 1992).

A descrição dos tratamentos utilizados é apresentada na Tabela 2. A testemunha não recebeu nenhum tipo de adubação de base ou cobertura durante toda a condução do experimento. As garantias fornecidas pelos fabricantes, em porcentagem, de cada fertilizante utilizado no trabalho estão apresentadas na Tabela 3. As doses de P foram definidas com base na exportação de P pela cultura da soja tendo como referência o teor de P no solo e a expectativa de produtividade.

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos testados no presente trabalho.

Tratamentos	Fertilizante	Base Orgânica	Tipo	Dose (%)
TEST	Testemunha	-	-	-
IM100	Mineral	-	Mistura de Grânulos	100
IM66	Mineral	-	Mistura de Grânulos	66
OG100	Organomineral	Turfa	Granulado	100
OG66	Organomineral	Turfa	Granulado	66
OM100	Organomineral	Cama de aviário	Mistura de Grânulos	100
OM66	Organomineral	Cama de aviário	Mistura de Grânulos	66
OP100	Organomineral	Cama de aviário	Peletizado	100
OP66	Organomineral	Cama de aviário	Peletizado	66

**Tabela 3.** Garantias fornecidas pelos fabricantes dos fertilizantes utilizados no experimento.

Fertilizante	Garantias								
	IM	N%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O%	Ca%	Mg%	S%	B%	CO%
02-20-18	2	20	18	8,3	-	4,8	0,05	-	-
10-15-15	10	15	15	4,3	-	10,3	-	-	-
OG									
02-12-12	2	12	12	2,0	-	-	0,1	8,0	
05-09-09	5	9	9	4,0	-	3,0	0,1	8,0	
05-17-10	5	17	10	-	-	-	0,1	8,0	
05-12-06	5	12	6	-	-	-	0,1	8,0	
OM									

2-12-12	2	12	12	5,5	1,4	0,7	0,01	15,0
07-07-07	7	7	7	3,5	1,1	6,5	0,01	14,4
OP								
03-12-12	3	12	12	-	-	-	-	-
05-10-10	5	10	10	-	-	-	-	-

Na Tabela 4 estão apresentadas as formulações aplicadas bem como as quantidades aplicadas de cada fertilizante. Para cultura da soja, a dose recomendada (26,20 kg de P ha<sup>-1</sup>) foi definida para uma expectativa de produtividade de 4 t ha<sup>-1</sup> para um nível alto de P no solo. Em virtude da não realização da análise do solo de cada parcela antes do cultivo de cada safra de soja, foi adotada a mesma dose de P para as três safras de soja, com base no teor de P do início do experimento.

Durante a condução do experimento foram realizados três cultivos de soja (*Glycine max* L. Merrill), dois cultivos de milho safrinha (*Zea mays* L.) e um de trigo (*Triticum aestivum* L.). Os fertilizantes utilizados para adubação de base das culturas foram formulados NPK (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O). O fertilizante mineral é uma mistura de grânulos (IM). O fertilizante organomineral granulado (OG) é composto de turfa e fertilizantes inorgânicos moídos e granulados, assumindo-se que todos os grânulos continham a mesma proporção de nutrientes. O fertilizante organomineral peletizado (OP) tem fabricação similar ao granulado, exceto pelo processo de granulação que é substituído pela peletização e a base orgânica foi cama de aviário. O fertilizante organomineral mistura de grânulos (OM) foi composto por cama de aviário moída e peletizada, cujos pellets foram misturados aos grânulos do NPK numa mistura convencional de grânulos.

As variedades de soja cultivadas nos dois primeiros anos foram a NK7059RR e no terceiro ano foi a M6210IPRO. No primeiro e segundo anos, o tratamento de sementes foi feito com Tiametoxan (Cruiser 2 mL kg<sup>-1</sup>) e Fluodioxonil + Metalaxil-M (Maxin 2 mL kg<sup>-1</sup>) e a inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* no sulco de semeadura (Masterfix 2.400.000 unidades formadoras de colônia - UFC semente<sup>-1</sup>). No terceiro ano, o tratamento de semente foi feito com Piraclostrobina + Tiofanato metílico + Fipronil (Standak top 2 mL kg<sup>-1</sup>), com inoculação com *B. japonicum* em sulco de semeadura (Materfix 3.600.000 UFC semente<sup>-1</sup>). A semeadura foi realizada com uma semeadora Semeato modelo SHM11/13. A aplicação de fertilizantes foi feita por meio de hastes sulcadoras a 10 cm de profundidade e a semente depositada a 4 cm em sulco aberto por discos lisos simples. O

espaçamento utilizado foi de 0,45 m entre linha com 14 e 13 sem m<sup>-1</sup> para NK7059RR e M6210IPRO, respectivamente. As dimensões das parcelas foram de 20 m de comprimento por 5 linhas de cultivo e a área útil foi composta pelas 3 linhas centrais de 6 m resultando em 8,1 m<sup>2</sup>. As datas de semeadura foram 01/11/2014, 22/10/2015 e 21/10/2016. O controle fitossanitário foi realizado conforme a necessidade das culturas segundo recomendações descritas em Embrapa (2013). A adubação potássica de cobertura foi realizada quando as plantas estavam no estágio V3 – V4 nos dias 20/11/2014, 16/11/2015 e 10/11/2016 (Figura 1) utilizando 50 kg ha<sup>-1</sup> de K (60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Dessa forma, a adubação potássica para todos os tratamentos, exceto a testemunha, esteve dentro ou acima da dose recomendada de K para cultura da soja com base em teores médios de K no solo. Na safra 2015/16 foi feita aplicação de 2,5 kg ha<sup>-1</sup> de ácido bórico no momento da dessecação antes do plantio da soja.

**Tabela 4.** Formulações e doses de P e quantidade dos fertilizantes aplicados em cada ano de cultivo de soja, milho e trigo.

Ano	Cultura	Dose de P (kg ha <sup>-1</sup> )		Formulações e Doses de P aplicadas			
		100%	66%	OG	OM	OP	IM
2014-15	Soja	26,2	17,5	02-12-12	02-12-12	03-12-12	02-20-18
				500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	300 e 200 kg ha <sup>-1</sup>
2015	Milho	21,0	14,0	05-09-09	07-07-07	05-10-10	10-15-15
				533 e 352 kg ha <sup>-1</sup>	685 e 452 kg ha <sup>-1</sup>	480 e 317 kg ha <sup>-1</sup>	320 e 211 kg ha <sup>-1</sup>
2015-16	Soja	26,2	17,5	02-12-12	02-12-12	03-12-12	02-20-18
				500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	500-333 kg ha <sup>-1</sup>	300 e 200 kg ha <sup>-1</sup>
2016	Milho	21,0	14,0	05-17-10	07-07-07	05-10-10	10-15-15
				282 e 186 kg ha <sup>-1</sup>	685 e 452 kg ha <sup>-1</sup>	480 e 317 kg ha <sup>-1</sup>	320 e 211 kg ha <sup>-1</sup>
2016-17	Soja	26,2	17,5	05-12-06	02-12-12	03-12-12	02-20-18
				500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	500 e 333 kg ha <sup>-1</sup>	300 e 200 kg ha <sup>-1</sup>
2017	Trigo	21,0	14,0	5-17-10	07-07-07	05-10-10	10-15-15
				282 e 186 kg ha <sup>-1</sup>	685 e 452 kg ha <sup>-1</sup>	480 e 317 kg ha <sup>-1</sup>	320 e 211 kg ha <sup>-1</sup>

No estádio R2, conforme recomendado por SBCS/NEPAR (2017), foram realizadas as coletas de folhas nas datas de 15/12/2014, 10/12/2015 e 05/12/2016 para a análise foliar de nutrientes. Foram coletados os 3º ou 4º trifólios completamente expandidos sem pecíolo, contado a partir do ápice em 20 plantas por parcela. As folhas foram secas a 65°C até massa constante e em seguida foram moídas de modo que o conteúdo passasse por uma malha de 1,0 mm de abertura. Após a maturação fisiológica da cultura, foi realizada a colheita dos grãos da área útil (8,1 m<sup>2</sup>) e a umidade dos grãos foi corrigida para 13%. A produtividade (Prod) foi obtida extrapolando a produção de grãos para kg ha<sup>-1</sup>, para os anos de 2015 (Prod15), 2016 (Prod16) e 2017 (Prod17). O somatório das produtividades (SProd) foi obtido por meio da soma das produtividades obtidas nos três anos de cultivo da soja. A variável massa de mil grãos (MMG) foi obtida por meio da contagem aleatória de 4 repetições de 50 grãos de soja seguida de pesagem e correção da umidade para 13%, para os anos de 2015 (MMG15), 2016 (MMG16) e 2017 (MMG17).

Após a colheita, uma parte dos grãos colhidos também foram secos a 65°C, moídos de modo que passasse por uma malha de 1,0 mm de abertura. As amostras de folhas e grãos foram submetidas à digestão nitro-perclórica e em seguida foi determinado o P total nos grãos (Pg) e nas folhas (Pf) por meio do método colorimétrico do amarelo de vanadato (Malavolta et al., 1997), para os anos de 2015 (Pg15 e Pf15), 2016 (Pg16 e Pf16) e 2017 (Pg17 e Pf17).

Com os resultados de Prod e dos teores de Pg foi calculado o P exportado por hectare (Pexp) (Eq. 1). O Índice de Exportação de P (IEP) foi calculado a partir do P exportado e da dose de P aplicada (Eq. 2). O Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) para produtividade de soja foi calculado com base na Prod dos tratamentos adubados e da testemunha e na dose de P aplicada (Eq. 3). Os cálculos de IEP e IEA foram adaptados de Sakurada L. et al. (2016).

$$P_{exp} (kg ha^{-1}) = P_g \times PROD \quad [Eq. 1]$$

Em que:

$P_{exp}$  (kg ha<sup>-1</sup>) = quantidade de P exportado com os grãos;  $P_g$  (g kg<sup>-1</sup>) = teor de P nos grãos;  $PROD$  (kg ha<sup>-1</sup>) = Produtividade do tratamento em cada ano.

$$IEP (\%) = \left( \frac{P_{exp}}{P_{ap}} \right) \times 100 \quad [Eq. 2]$$

Em que:

$IEP$  (%) = Índice de Recuperação de P;  $P_{exp}$  (kg ha<sup>-1</sup>) = quantidade de P exportado pelos grãos;  $P_{ap}$  (kg ha<sup>-1</sup>) = Dose de P aplicada para cultura.

$$IEA (g g^{-1}) = \frac{(PROD_{trat} - PROD_{test})}{P_{ap}} \quad [Eq. 3]$$

Em que:

$IEA$  (kg de grãos g<sup>-1</sup> de P) = Índice de Eficiência de Uso de P para produtividade de soja;  $PROD_{trat}$  (kg ha<sup>-1</sup>) = Produtividade do tratamento;  $PROD_{test}$  (kg ha<sup>-1</sup>) = Produtividade da testemunha;  $P_{ap}$  (kg ha<sup>-1</sup>) = Dose de P aplicada para cultura.

As amostragens de solo foram realizadas após a colheita das culturas de inverno e as amostras foram obtidas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. As coletas foram realizadas em 15/09/2015, 21/09/2016 e 20/09/2017. Com o auxílio de um trado holandês foram coletadas três amostras simples em três pontos por parcela para compor uma amostra composta. Na primeira e segunda amostragem, as coletas foram realizadas após a colheita do milho safrinha e foram feitas sete prospecções por ponto de coleta, sendo um na linha de plantio e três de cada lado da linha. Na terceira coleta, foram feitas cinco prospecções por ponto, com uma amostra na linha de plantio e duas de cada lado da linha. Após a coleta, as amostras de solo foram secas e analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá.

As determinações de P, P-rem, e COS foram realizadas conforme Embrapa (2009). O P do solo (Ps) foi extraído com extrator Mehlich-1. O período de desincubação entre a adição da solução de equilíbrio às amostras de solo, seguido de agitação, e a determinação do P-rem foi de 16 horas. As determinações de P e P-rem foram feitas por colorimetria pelo método azul de molibdênio. O COS foi determinado pelo método colorimétrico com dicromato de sódio.

Os parâmetros medidos foram analisados de forma independente para cada profundidade e para cada ano. A análise descritiva e de correlação dos parâmetros analisados foi realizada usando o programa SAS. Foram realizados os testes para verificar a homogeneidade de variância e normalidade dos erros para atender os pressupostos

básicos para a análise de variância. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância a 10% de probabilidade ( $p < 0,10$ ) e a análise dos contrastes ortogonais (C) foi feita conforme Banzatto e Kronka (2006) usando o programa SISVAR. Os contrastes elaborados estão apresentados na Tabela 5. Os índices de correlação significativos estão destacados em cores diferentes, de modo que a cor azul indica índice alto de correlação ( $>0,7$ ), a cor verde indica índice médio de correlação ( $0,4 - 0,7$ ) e a cor vermelha indica índice de correlação baixo ( $<0,4$ ) (Shimakura, 2006).

**Tabela 5.** Contrastes ortogonais dos tratamentos.

Contraste (C)	Descrição		
	G1		G2
C1	IM + OG + OM + OP	vs	TEST
C2	IM	vs	OG + OM + OP
C3	OG	vs	OM + OP
C4	OM	vs	OP
C5	IM100	vs	IM66
C6	OG100	vs	OG66
C7	OM100	vs	OM66
C8	OP100	vs	OP66

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### *Resultados*

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ( $p < 0,10$ ) para os parâmetros SProd, Prod15, Prod16, Prod17, MMG17, Pf16, Pf17, Pg17, Pexp16, Pexp17, PsA17, PremA15, PsB17, PremB17, IEA15, IEA16, IEA17, IEP15, IEP16 e IEP17 (Anexo 2, 3, 4 e 5). Os desdobramentos em contrastes ortogonais estão apresentados nos anexos 3, 4 e 5. Para os demais parâmetros, MMG15, MMG16, Pexp15, Pf15, Pg15, Pg16, PsA15, PsA16, PsB15, PsB16, COSA15, COSA16, COSA17, COSB15, COSB16, COSB17, PremA16, PremB15 e PremB16, não houve efeito significativo dos tratamentos,

permitindo inferir que não houve influência dos tratamentos nestas variáveis sob as condições experimentais do presente trabalho.

A média de produtividade da testemunha foi menor que a média dos tratamentos que receberam adubação (C1) independentemente das safras (Tabela 6). A adubação resultou em ganhos significativos de produtividade comparado com a não aplicação de fertilizantes na cultura da soja, mostrando que o solo tende a um balanço negativo.

A aplicação do fertilizante OG foi mais eficiente do que a aplicação do OM e OP, resultando em maior Prod nas três safras de soja e Sprod (C3). O C5 mostrou que a aplicação da dose normal do IM (IM100) resultou em maior Prod nas safras 2015/16 e 2016/17 e SProd quando comparado à aplicação da dose reduzida (IM66). Para Prod15, não houve efeito significativo de C5, sugerindo que para IM aplicado em 2/3 da dose recomendada não resultou em perda de Prod na primeira safra (2014/15).

A análise dos contrastes C2, C4, C6, C7, C8 não mostrou diferenças significativas para Prod e Sprod nas safras estudadas. A aplicação do fertilizante mineral ou do organomineral na cultura da soja em solos com teores adequados de P não promoveram ganhos de Prod, podendo optar por qualquer um deles. Ao se optar pelo uso de fertilizantes organominerais, o OG mostrou-se mais eficiente que OM e OP independentemente da dose adotada. Para os fertilizantes organominerais não houve diferenças entre as doses.

**Tabela 6.** Análise das médias dos contrastes ortogonais para os parâmetros Prod e Sprod para as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 de soja.

C	Prod15*		Prod16*		Prod17*		SProd*	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	kg ha <sup>-1</sup>							
1	3580,0	3112,7	2685,8	2239,9	3263,1	1875,8	9528,9	7228,5
2	3584,4	3578,6	2620,2	2707,6	3197,7	3284,9	9402,3	9571,1
3	3688,1	3523,8	2822,7	2650,1	3648,9	3102,9	10159,7	9276,8
4	3476,1	3571,4	2664,0	2636,2	3010,5	3195,4	9150,5	9403,0
5	3589,6	3579,2	2763,2	2477,2	3449,3	2946,1	9802,1	9002,5
6	3623,6	3752,7	2892,4	2753,0	3760,0	3537,7	10276,1	10043,4
7	3448,5	3503,7	2606,2	2721,8	3166,3	2854,6	9221,0	9080,1
8	3594,8	3548,0	2626,1	2646,3	3318,3	3072,5	9539,1	9266,9

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

O parâmetro MMG apresentou diferença significativa somente na safra 2016/17 (MMG17) e C1, C2 e C3 foram significativos. Nas safras anteriores (2014/15 e 2015/16) não houve diferença significativa de MMG entre os tratamentos (Tabela 7). Dessa forma, na safra 2016/17 a aplicação de fertilizante resultou em maior MMG quando comparado a TEST (C1). Os fertilizantes organominerais (OG, OM e OP) proporcionaram maior MMG do que o fertilizante mineral (IM) e dentre os fertilizantes organominerais, o OG resultou em maior MMG. Os demais contrastes (C4, C5, C6, C7 e C8) não foram significativos, mostrando que a utilização de OM ou OP tanto na dose normal ou reduzida de P não resultou em diferença de MMG17 e os demais fertilizantes (IM e OG) também não apresentaram diferença para dose.

O C1 foi significativo para os parâmetros Pexp16 e Pexp17 (Tabela 7). Em ambas as safras a aplicação de fertilizantes resultou em maior exportação de P quando comparado com a ausência de adubação. Ainda para Pexp17, o C5 foi significativo, mostrando que o uso da dose normal acarretou em maior exportação de P pelos grãos de soja quando usado o IM.

**Tabela 7.** Análise das médias dos contrastes ortogonais para os parâmetros MMG e Pexp para as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 de soja.

C	MMG15 <sup>ns</sup>		MMG16 <sup>ns</sup>		MMG17*		Pexp15 <sup>ns</sup>		Pexp16*		Pexp17*	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	g						kg ha <sup>-1</sup>					
1	151,4	144,4	134,8	133,5	117,2	109,0	17,31	14,82	13,83	11,00	17,47	9,75
2	151,2	151,4	134,4	134,9	114,9	118,0	17,70	17,17	13,52	13,94	17,57	17,43
3	152,9	150,7	134,5	135,1	123,6	115,2	17,43	17,04	14,23	13,79	18,31	16,99
4	150,3	151,1	135,0	135,3	115,3	115,1	16,74	17,34	13,95	13,63	16,40	17,58
5	152,7	149,7	137,9	131,0	117,2	112,6	17,78	17,62	14,06	12,98	18,84	16,31
6	154,2	151,5	132,6	136,4	123,9	123,2	17,27	17,60	14,32	14,13	18,46	18,16
7	148,6	151,9	132,4	137,5	117,0	113,5	16,53	16,96	14,00	13,90	17,01	15,79
8	151,2	150,9	135,3	135,4	114,0	116,2	17,24	17,44	13,36	13,91	18,26	16,90

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

Os parâmetros Pf16 e Pf17 (Tabela 8) apresentaram diferenças significativas para os tratamentos, com C1 e C2 sendo significativos para todas as safras. Nas duas últimas safras, a adubação resultou em maior teor de P na folha comparado com a testemunha. O C2 para o parâmetro Pf16 demonstrou maior Pf quando a soja foi adubada com IM; já para

Pf17, o maior PF foi obtido com fertilizantes organominerais. Os contrastes C3, C5 e C6 foram significativos somente para Pf17. Dessa forma, entre os organominerais, o OG resultou em maior Pf que o OM e o OP e o uso da dose normal para IM e OG também resultou em maior Pf quando comparado a dose reduzida.

Para os teores de Pg, foram observadas diferenças para tratamentos somente na safra 2016/17 (Pg17). Os contrastes C1, C2, C3 e C6 foram significativos para Pg17. A adubação resultou em maior Pg17 em comparação a TEST. O uso do IM acarretou maior Pg17 do que os fertilizantes organominerais e dentre os fertilizantes organominerais, o OG promoveu maior teores de P. A dose reduzida de P quando aplicada com o OG (OG66) resultou em maior teor de P no grão do que a dose normal (OG100).

**Tabela 8.** Análise das médias dos contrastes ortogonais para os parâmetros teor de P nas folhas (Pf) e nos grãos (Pg) após as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 de soja.

C	Pf15 <sup>ns</sup>		Pf16 <sup>*</sup>		Pf17 <sup>*</sup>		Pg15 <sup>ns</sup>		Pg16 <sup>ns</sup>		Pg17 <sup>*</sup>	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	g kg <sup>-1</sup>											
1	3,44	3,33	2,75	2,47	1,61	1,39	4,83	4,73	5,16	4,91	5,37	5,18
2	3,38	3,46	2,66	2,78	1,67	1,59	4,94	4,80	5,17	5,15	5,50	5,33
3	3,47	3,45	2,79	2,78	1,69	1,54	4,72	4,84	5,04	5,21	5,02	5,48
4	3,47	3,44	2,76	2,80	1,52	1,55	4,82	4,86	5,23	5,18	5,45	5,51
5	3,39	3,38	2,69	2,62	1,79	1,56	4,95	4,92	5,09	5,25	5,47	5,53
6	3,46	3,49	2,71	2,86	1,80	1,59	4,76	4,69	4,96	5,13	4,91	5,13
7	3,41	3,53	2,70	2,83	1,53	1,52	4,79	4,84	5,36	5,11	5,38	5,52
8	3,42	3,46	2,72	2,89	1,57	1,53	4,80	4,91	5,09	5,27	5,51	5,51

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

Diferenças significativas para Ps foram observadas no ano de 2017 para as duas profundidades (Tabela 9). Para os parâmetros PsA17 e PsB17, tanto C1 como C5 foram significativos, sugerindo que a adubação resultou em maior teor de P no solo em comparação a TEST; também a aplicação do fertilizante mineral na dose normal (IM100) resultou em maior teor de P no solo em comparação a dose reduzida (IM66). Para os fertilizantes organominerais não houve diferença entre as doses (C6, C7 e C8).

Os contrastes C3, C4 e C5 foram significativos para o parâmetro PsB17, mostrando que a capacidade de elevar os teores de Ps a 10-20 cm dos fertilizantes organominerais foi na ordem OG>OP>OM. A maior expressão dos tratamentos na camada 10-20 cm,

principalmente dos fertilizantes organominerais, possivelmente ocorreu devido à profundidade (10 cm) de deposição proporcionada pela haste da semeadora.

**Tabela 9.** Análise das médias dos contrastes ortogonais para os teores de P no solo a 0-10 cm (PsA) e 10-20 cm (PsB) após as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 de soja.

C	PsA15ns		PsA16ns		PsA17*		PsB15ns		PsB16ns		PsB17*	
	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	mg dm <sup>-3</sup>											
1	14,47	14,09	14,93	14,93	17,63	9,43	6,35	6,09	14,06	11,48	14,02	7,10
2	15,45	14,15	15,89	14,61	17,91	17,54	6,19	6,40	13,92	14,11	16,33	13,25
3	12,94	14,75	15,96	13,93	17,81	17,40	6,70	6,26	16,20	13,07	17,07	11,33
4	13,71	15,80	13,45	14,41	15,86	18,93	6,43	6,08	12,96	13,17	8,11	14,56
5	18,01	12,88	17,19	14,58	22,60	13,21	5,87	6,51	15,08	12,75	21,61	11,04
6	11,32	14,56	16,86	15,06	17,39	18,23	8,42	4,97	18,27	14,14	14,40	19,74
7	14,89	12,53	13,24	13,65	17,04	14,69	7,61	5,26	13,98	11,94	9,85	6,38
8	16,51	15,08	15,57	13,26	20,56	17,30	7,23	4,93	15,44	10,91	15,50	13,61

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

Os tratamentos não influenciaram os teores de COS, indicando que não houve efeito dos tratamentos nas condições experimentais do presente trabalho (Tabela 10).

**Tabela 10.** Análise das médias dos contrastes ortogonais para os parâmetros carbono orgânico do solo (COS) nas profundidades de 0-10 cm (COSA) e 10-20 cm (COSB) após as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 de soja.

C	COSA15ns		COSA16ns		COSA17ns		COSB15ns		COSB16ns		COSB17ns	
	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	g dm <sup>-3</sup>											
1	22,10	22,57	21,85	20,52	16,81	16,10	15,33	16,29	19,25	18,40	14,90	14,83
2	21,32	22,36	22,77	21,54	16,64	16,87	15,06	15,42	19,30	19,23	15,86	14,59
3	21,40	22,84	21,21	21,70	16,73	16,94	14,76	15,76	18,98	19,35	14,44	14,66

4	23,18	22,49	21,92	21,49	16,94	16,95	16,34	15,17	19,54	19,17	14,41	14,91
5	20,90	21,75	23,20	22,35	16,84	16,43	14,20	15,91	19,37	19,22	16,14	15,58
6	20,52	22,27	21,71	20,71	17,10	16,36	14,98	14,54	18,81	19,15	14,02	14,87
7	23,98	22,38	21,16	22,68	17,85	16,02	15,50	17,18	19,41	19,67	14,91	13,91
8	21,27	23,72	21,04	21,94	16,51	17,40	14,98	15,36	18,85	19,48	14,98	14,83

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

Os valores de Prem apresentaram diferenças significativas para os parâmetros PremA15 e PremB17 (Tabela 11). Para PremA15, somente o contraste C7 foi significativo, mostrando que a adubação do fertilizante OM na dose normal (OM100) resultou em maior Prem do que com sua dose reduzida (OM66). Para PremB17, os contrastes C1, C2, C5, C6 e C7 foram significativos. A aplicação de fertilizantes proporcionou maior Prem em comparação à TEST (C1); o uso do fertilizante IM resultou em maior Prem do que os fertilizantes organominerais (C2); para os fertilizantes IM e OG o uso da dose reduzida (IM66 e OG66) resultou em maior Prem do que a dose normal (C5 e C6); para o OM, a dose normal (OM100) proporcionou maior Prem do que a dose reduzida (OM66).

**Tabela 11.** Análise das médias dos contrastes ortogonais para os parâmetros teor de Prem no solo nas profundidades de 0-10 cm (PremA) e 10-20 cm (PremB) após as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 de soja.

C	PremA15*		PremA16 <sup>ns</sup>		PremA17 <sup>ns</sup>		PremB15 <sup>ns</sup>		PremB16 <sup>ns</sup>		PremB17*	
	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
mg dm <sup>-3</sup>												
1	24,14	24,64	23,65	22,43	19,35	18,64	18,46	18,27	20,63	20,32	16,87	15,71
2	24,02	24,18	23,26	23,78	19,64	19,26	18,60	18,42	20,71	20,60	18,31	16,39
3	24,33	24,11	23,15	24,10	19,07	19,35	18,48	18,39	20,49	20,66	16,75	16,21
4	24,57	23,64	23,94	24,26	19,13	19,57	18,66	18,12	20,96	20,36	16,09	16,34
5	24,32	23,72	23,40	23,12	19,95	19,33	18,25	18,96	20,75	20,66	17,95	18,68
6	23,61	25,05	23,31	22,98	19,00	19,14	18,89	18,06	20,27	20,71	16,15	17,35
7	25,63	23,51	23,84	24,04	19,74	18,52	18,57	18,75	20,71	21,21	16,82	15,37
8	22,92	24,36	24,02	24,50	20,18	18,96	18,57	17,67	19,90	20,82	16,47	16,20

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

Os valores de n de IEA e IEP são menores que dos demais parâmetros devidos o uso do tratamento testemunha (TEST) no cálculo do IEA e IEP, não sendo possível determinar estes índices para a TEST (Anexo I). Foram observadas diferenças para IEA e

IEP em todos os anos agrícolas (Tabela 12). O C3 apresentou significância para o parâmetro IEA nos anos de 2015, 2016 e 2017, de modo que dentre os fertilizantes organominerais o OG apresentou maior IEA do que OM e OP. Para IEA15 e IEA17 no C6, o uso da dose reduzida do fertilizante OG (OG66) proporcionou maiores valores de IEA do que a dose normal (OG100). Para IEA16 no C7, a aplicação do fertilizante OM em dose reduzida (OM66) também proporcionou maior IEA do que a dose normal (OM100).

Para os parâmetros IEP15, IEP16 e IEP17, o comportamento dos contrastes C5, C6, C7 e C8 foi o mesmo, de modo que para todos os fertilizantes, o uso da dose reduzida proporcionou maiores valores do que quando comparado com a dose normal. Ainda para IEP17, o fertilizante OG proporcionou maiores valores quando comparado aos outros fertilizantes organominerais (OM e OP).

**Tabela 12.** Índice de eficiência agrônômica (IEA) e Índice de exportação de fósforo (IEP) para cultura da soja submetida à adubação mineral e organomineral durante 3 safras.

C	IEA15*		IEA16*		IEA17*		IEP15*		IEP16*		IEP17*	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	kg kg <sup>-1</sup>						%					
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	22,5	22,4	16,8	22,3	60,7	66,0	84,4	82,1	64,0	66,5	82,6	82,7
3	28,1	19,6	27,1	19,9	83,5	57,2	83,3	81,5	67,8	65,9	87,2	80,4
4	17,6	21,7	20,8	19,0	52,6	61,8	80,1	82,8	66,5	65,3	77,7	83,2
5	18,2	26,7	20,0	13,6	60,1	61,3	67,9	100,9	53,7	74,3	71,9	93,3
6	19,5	36,6	24,9	29,4	71,9	95,1	65,9	100,8	54,7	80,9	70,5	104,0
7	12,8	22,4	14,0	27,6	49,3	56,0	63,1	97,1	53,4	79,6	64,9	90,4
8	18,4	24,9	14,7	23,3	55,1	68,5	65,8	99,8	51,0	79,6	69,7	96,8

Em vermelho estão os contrastes significativos a 10% de probabilidade. \*Variáveis que apresentam diferenças significativas a 10% de probabilidade. <sup>ns</sup> Variáveis que não apresentam diferença significativa a 10% de probabilidade.

Ao longo das três safras pôde-se observar que as correlações significativas entre os parâmetros analisados no presente trabalho aumentaram de 2014/15 para 2016/17, com graus de correlação variáveis (Anexo 6, 7 e 8).

## Discussão

Na safra 2014/15, a Prod média de 3528,0 kg ha<sup>-1</sup> foi maior que a média para cultura da soja nos últimos dez anos no estado do Paraná, que é de 3.121 kg ha<sup>-1</sup> (Conab, 2018b). Houve variação de 34% entre Prod média da safra 2015/16 (menor valor) para a

maior produtividade verificada em 2014/15. A amplitude da Prod na safra 2014/15 foi de 1.429 kg ha<sup>-1</sup> enquanto em 2016/17 foi de 2.996 kg ha<sup>-1</sup> mostrando que, possivelmente, as diferenças entre os tratamentos aumentaram ao longo das safras. Na safra 2015/16, ocorreu elevado volume de chuvas durante praticamente todo o ciclo da cultura (Figura 1). O excesso de precipitação em 2015/16 pode ter sido prejudicial ao desenvolvimento da cultura, pois além de promover excessos de água por longos períodos, houve longos períodos de incidência difusa de luz sobre as plantas, influenciando o fotoperíodo (Mundstock e Thomas, 2005).

A significância do contraste C1 para Prod em todas as safras de soja demonstra que o fornecimento de P foi necessário quando comparado a não aplicação de P durante o desenvolvimento da cultura (Tabela 6). A diferença de Prod entre a média dos tratamentos com fertilizantes e a TEST aumentou ao longo das três safras e, conseqüentemente, o mesmo resultado foi observado para SProd. Os resultados sugerem que a adubação com P foi imprescindível para obtenção de maior Prod, mesmo em um solo com alto teor de P no solo na camada 0 – 20 cm (12,14 mg dm<sup>-3</sup>) e corroboram outros trabalhos que reportaram ganhos de Prod com adubação de P em solos com condições adequadas ou baixas de fertilidade do solo (Devi et al., 2012; Martins et al., 2017; Borges et al., 2019; Caione et al., 2015). Estes resultados são atribuídos à maior disponibilidade de P proveniente dos fertilizantes localizados próximas às raízes no início do desenvolvimento da cultura (Caione et al., 2015). Nesta situação, a maior disponibilidade de P favorece a planta devido à baixa taxa de difusão do P no solo, que é menor em comparação a outros nutrientes e dificulta o acesso da raiz ao P (Novais e Smyth, 1999).

A utilização dos fertilizantes organominerais não promoveu maior Prod em comparação o fertilizante mineral (Tabela 6). Os possíveis benefícios dos fertilizantes organominerais que poderiam resultar em superioridade frente aos fertilizantes minerais (Kiehl, 1993) não se expressaram nas condições do presente trabalho. Deeks et al. (2013) ao longo de três anos não constataram diferenças entre o uso de fertilizantes minerais e organominerais na Prod de milho, canola, trigo, cevada. Da mesma forma, Borges et al. (2015) também não verificaram diferenças entre a adubação mineral e organomineral com cama de aviário na Prod de soja e milho quando balanceadas pela mesma dose de P (120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), possivelmente devido às elevadas doses de P fornecidas pela adubação. Neste contexto, os resultados de Martins et al. (2017) também mostram que em condições de P do solo em níveis adequados, a manutenção do P por meio da adubação é necessária e

que nessas condições a aplicação de fertilizantes minerais apresenta eficiência comparável aos organominerais.

A comparação entre os fertilizantes organominerais (C3), o OG mostrou-se mais eficiente em todas as safras, resultado também verificado em função do maior IEA (Tabela 12), demonstrando que as diferentes características de cada tipo de fertilizante organomineral provavelmente influenciaram nas diferentes respostas. Sakurada L. et al. (2016) constataram que a granulação de fertilizantes organominerais a base de cama de aviário resultou em disponibilização mais lenta de P. As fontes orgânicas que compunham os fertilizantes organominerais eram de diferentes origens (Turfa e cama de aviário). Com base nos resultados do presente trabalho, a turfa promoveu maior eficiência do fertilizante OG. Isto pode ser explicado pela diferença na composição da MO do fertilizante, visto que a turfa pode ter maior concentração de ácidos orgânicos em comparação à cama de aviário e que proporcionaram maior disponibilidade de P às plantas devido aos efeitos da matéria orgânica na redução da adsorção e fixação de P pelo solo (Tirloni et al, 2009; Abdala et al., 2015; Fink et al., 2016a e 2016b). Além disso, é possível que a proporção de P mineral/P orgânico do OG seja maior em comparação ao OM e OP (análise não realizada no presente trabalho), ainda poderia se somar a isso a solubilização mais rápida do P que promove a saturação dos sítios de adsorção de P promovendo maior disponibilidade de P, mesmo que de forma temporária (Sartori et al., 2017).

Em nível de comparação, trabalhos que avaliaram o desempenho de diferentes cultivares de soja (Melo et al., 2016 e Tessele et al., 2017) apresentaram valores de MMG maiores que as médias de MMG15, MMG16 e MMG17 (Tabela 7). Assim como para Prod (Tabela 6), a adubação resultou em maior MM17 quando comparado a não aplicação de fertilizante. A adubação com P promoveu melhor nutrição e desenvolvimento da cultura, de modo que Pf17 e Pg17 (Tabela 8) responderam positivamente à adubação. Embora Pf17 e Pg17 tenham apresentado maiores concentrações quando adubadas com IM (C2), as maiores MMG17 foram obtidas nos fertilizantes organominerais, com o OG promovendo a maior MMG17. Desta forma, é possível afirmar que a adubação organomineral, preferencialmente realizada pelo OG, promove maior MMG quando comparado ao IM, resultando em grãos mais pesados (Pádua et al., 2010; Almeida et al., 2013). Rosolem e Tavares (2006) ao avaliarem a deficiência tardia de P na soja, verificaram que as plantas que não receberam adubação fosfatada apresentaram menores teores de P nas folhas e grãos e menor produção de vagens, porém apresentaram maior massa de 100 grãos. Os

autores atribuíram este comportamento a melhor nutrição pelo aporte de fotoassimilados para um número menor de vagens e resultou em maior massa de grãos. Batistella Filho et al. (2013) também constataram maiores valores de MMG de soja com aumento de doses de P.

Embora diferenças entre os tratamentos tenham sido observadas para MMG17, a influência na Prod apresentou média correlação (Anexo 6 e 7). A MMG apresentou correlação média com Pg e IEA na safra 2016/17, sendo correlação negativa com o Pg, indicando o efeito de diluição de P nos grãos em função do seu maior crescimento, fazendo com que sua concentração fosse inversamente proporcional à massa do grão (Marschner, 2012). O C6 (Tabela 8) demonstra esse efeito quando pelo uso do OG.

Os C1 e C5 para Pexp16 e Pexp17 (Tabela 7) demonstram que a maior Prod junto ao maior Pg promoveram maior Pexp devido à maior disponibilidade de P que os fertilizantes frente à TEST e a maior dose de P (IM100) frente a menor (IM66) que resultou em maior absorção de P e, conseqüentemente, maior Prod. Entretanto, os índices de correlação do Pexp com a Prod foram maiores do que com o Pg (Anexo 6, 7 e 8), mostrando que o Pexp é mais dependente da Prod. Os grãos mais pesados não são necessariamente os que apresentam a maior concentração de P, sendo isso demonstrado pela correlação negativa entre MMG17 e Pg17.

Os resultados opostos observados no C2 para Pf16 e Pf17 (Tabela 8) mostram que mesmo que compostos orgânicos tenham a capacidade de reduzir a fixação de P no solo (Abdala et al., 2015; Fink et al., 2016a), podendo ser um potencial benefício dos fertilizantes organominerais, isso não resultou em diferença de disponibilidade de P no solo (Tabela 9) que justificasse as diferenças foliares. A ausência de diferenças entre fertilizantes minerais e organominerais pode estar no fato de que nas doses aplicadas, a quantidade de carbono orgânico é muito pequena e não significativa, não promovendo efeito substancial sobre processos de adsorção e fixação (Wietholter et al., 1994). Entretanto, para Pf16 o uso de fertilizantes organominerais promoveu maior absorção P em comparação ao mineral (Tabela 8). Frazão et al. (2019) não verificaram diferenças para origem do P em plantas de milho quando adubadas com fertilizante organomineral ou SFT em um Oxisol com alta CMAP. Os teores médios de Pf nas safras 2014/15 e 2015/16 (Anexo I), respectivamente, estavam dentro da faixa que é considerada adequada para o desenvolvimento da cultura, com o valor médio ideal sendo de  $3,5 \text{ g kg}^{-1}$  (SBCS/NEPAR, 2017). Já para safra 2016/17, o teor médio de  $1,7 \text{ g kg}^{-1}$  (Anexo I) estava abaixo da faixa

adequada. Para o C3, os maiores teores de P se devem, possivelmente, à maior concentração do P constituindo a fração mineral do OG, portando mais solúvel e rapidamente disponível. Para C5 e C6, a aplicação de uma maior dose, que confere maior disponibilidade, proporcionou maior Pf. A maior disponibilidade de P e condições que favoreçam a absorção do nutriente pelas plantas sem restrições possibilitam o chamado consumo de luxo (Marschner, 2012), que é a absorção de um nutriente pelas plantas além de sua demanda metabólica, resultando em estoque do nutriente.

A maior disponibilidade de P no solo resultou em maiores teores foliares de P nas folhas e devido à melhor nutrição de P, a Prod tende a ser maior (Borges et al., 2019). As diferenças com relação às doses são mais claramente demonstradas na safra 2016/17 e pelo fertilizante mineral (Tabelas 6, 7, 8 e 9), o qual não tem interferência da fração orgânica em sua composição e teve na dose normal (IM100) maior Pf17 e Prod17.

A eficiência de fertilizantes organominerais com base de cama de aviário tem sido demonstrada em culturas como milho, soja, batata, canola, trigo, cana de açúcar (Bedin et al., 2003, Teixeira et al., 2014; Borges et al 2015, Borges et al 2019, Mazeika et al 2016, Sá et al 2017; Martins et al 2017). Dentre os fertilizantes organominerais testados no presente trabalho, o OG foi o mais eficiente com base na Prod, Sprod e IEA (Tabela 6 e 12), mostrando que a utilização da turfa como fonte orgânica para fertilizantes organominerais fosfatados pode ser tão ou mais eficiente do que outras fontes. Dias et al. (2015) não observaram diferenças na eficiência de fertilizantes organominerais à base de turfa ou de MAP na produção de matéria seca de plantas de milho por dois cultivos e em solos diferentes. Entretanto, Wietholter et al. (1994), ao aplicar fertilizantes minerais e organominerais a base turfa+linhito oxidado ou cama de aves, observaram maior produtividade de aveia para o organomineral a base turfa+lignito. Mello et al. (2000) observaram que a aplicação de fertilizante organomineral à base de esterco de galinha promoveu maior peso médio de frutos de pimentão quando comparado com fertilizante organomineral a base de húmus de turfa. Os autores constataram que essa diferença ocorreu devido às diferentes características dos materiais orgânicos como a menor relação C/N do esterco de galinha que provavelmente promoveu mineralização e liberação de nutrientes de forma mais rápida. Entretanto, para a produção não foram observadas diferenças entre os tipos de fertilizantes organominerais. Além disso, a utilização de 100% ou 70% da base mineral nos organominerais não resultou em diferença na massa média de frutos, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho.

Os teores totais médios de P na turfa são inferiores aos da cama de aviário (Kiehl, 1985). Dessa forma, para que sejam fechadas as formulações com as mesmas concentrações de P entre os diferentes fertilizantes organominerais, a relação base mineral/orgânica é maior quando o fertilizante é a base de turfa, comparando-o à cama de aviário. Entretanto, ainda que os teores de P total da base orgânica seja conhecida, somente o fósforo solúvel em CNA + água é contabilizado nas garantias para formulação dos fertilizantes organominerais (MAPA, 2009). Isso resultaria em maior proporção de P prontamente solúvel no OG em comparação ao OM e OP e, conseqüentemente, em disponibilização mais rápida de P para cultura. Sakurada L. et al. (2016) observaram que o P solúvel em água dos fertilizantes organominerais, que representa o que está prontamente disponível, possui papel importante no P que será disponibilizado para as culturas. Essas diferentes solubilidades ocorrem devido a reações que podem ocorrer entre as fontes orgânicas e minerais dos fertilizantes, resultando na formação de compostos de baixa solubilidade e reduzindo a disponibilização de P no solo (Sakurada L., 2019).

As diferenças observadas para os teores de Ps somente na safra 2016/17 (Tabela 9), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (PsA17 e PsB17), mostram que ao longo das safras o efeito dos fertilizantes bem com as diferenças entre os tipos de fertilizantes e as doses começaram a se expressar. O não fornecimento de P resultou em redução dos teores deste nos solos, mostrando que a extração de P pelas culturas e os processos de adsorção e fixação a que o P está sujeito, acarretam em redução do P no solo (Fink, 2016a e 2016b; Whitters et al., 2018). Embora os teores da TEST estejam em níveis considerados adequados para o desenvolvimento da cultura da soja, os resultados de Pf17, MMG17 e Prod17 (Tabelas 6, 7 e 8) expressaram ganhos em função da adubação. Martins et al. (2017) também observaram ganhos significativos de Prod de milho com adubação em solos com níveis nutricionais adequados, constatando a importância da manutenção da fertilidade do solo, pelo menos a reposição da P exportado pelos grãos.

Características importantes dos fertilizantes orgânicos, como relação C/N e teor de ácidos orgânicos, apresentam grande influência na dinâmica do P no solo. Segundo Brondi et al. (2016) a relação C/N do esterco de aviário e da turfa é de 11,6 e 17,6, respectivamente. Por ter a menor relação C/N o esterco de aviário tem processos de mineralização mais rápidos, conseguindo promover a liberação de nutrientes de forma mais rápida que a turfa. Além disso, com teores de P da cama de frango de 1,6% e da turfa de 0,07% (Kiehl, 2010), a utilização da cama de aviário disponibilizaria maiores quantidades

de P. Com a utilização da cama de aviário, a produção dos fertilizantes organominerais resultaria em menor relação base orgânica/base mineral se comparado à utilização da turfa. Ou seja, menor quantidade de cama de aviário em comparação ao uso da turfa, seria necessária para atender iguais concentrações de P. Conseqüentemente, com a maior quantidade de P proveniente da cama de aviário, menor aporte de P de fonte mineral será requerido para completar as formulações.

A cama de aviário e a turfa apresentam componentes do solo em sua composição devido a sua origem e a forma com que são manejados. Desta forma, ambos podem apresentar óxidos de Fe e Al, bem como  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  livres que podem interferir na disponibilidade do P no solo, podendo apresentar uma grande variabilidade. Sakurada L. et al. (2019) observaram que o resíduo do fertilizante organomineral granulado a base de cama de aviário, que mostrou-se menos solúvel, apresentou um número maior de fosfatos de Al em comparação à forma de mistura de grânulos organomineral ou mineral. A turfa apresenta maiores teores médios de ácidos orgânicos quando comparado a cama de aviário, o que pode lhe conferir maior potencial na redução de processos de fixação e precipitação de P.

Desconsiderando o teor de C dos fertilizantes (Tabela 3), provavelmente para a produção dos fertilizantes organominerais foram utilizadas quantidades maiores de turfa para fechar a formulação com base em P do que de cama de aviário. Com base nisso, o OG tem características químicas que favoreceriam a disponibilidade de P frente ao OM e OP. Vantagem essa que decorre da maior quantidade de P prontamente disponível, proveniente da base mineral, e também por apresentar maior concentração de ácidos húmicos e fúlvicos proveniente da turfa. Os teores médios de ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) são de 1,7% e 1,6% para esterco de aves e 5,1% e 1,2% para turfa (Brondi et al., 2016).

A não diferença de COS entre os tratamentos (Tabela 10) indica a não influência do CO proveniente dos fertilizantes no solo. A quantidade de CO adicionada ao solo por meio dos fertilizantes organominerais é muito pequena para que promova alguma mudança significativas nos teores de COS. Esses resultados eram esperados, uma vez que a aplicação do fertilizante OP, que dentre todos os organominerais é o que apresenta maior concentração de CO (15%), em sua maior dose ( $685 \text{ kg ha}^{-1}$ ) resulta em um acréscimo de  $0,05 \text{ g dm}^{-3}$  de COS no solo na profundidade de 0-20 cm, o que é um incremento muito pequeno.

A não diferença entre os tratamentos para os resultados de COS pode indicar a não influência do material orgânico proveniente dos fertilizantes nos valores de P-rem que resultem em diferenças entre os tratamentos. Com base nos contrastes significativos para Prem17, observou-se respostas para adubação, com o fertilizante mineral promovendo maior Prem que os organominerais e o OM100 apresentando maior Prem que o OM66. Entretanto, IM e OG apresentaram maior Prem quando utilizado na dose reduzida.

Maiores valores de IEA15 e IEA17 foram observados quando utilizadas doses reduzidas de OG, para IEA16 o mesmo resultado foi observado quando utilizada a menor dose do OM (Tabela 12). Isso demonstra que em condições de solo com níveis adequados de P, doses reduzidas de P podem resultar em maior eficiência agrônômica. Ainda que o uso de doses reduzidas de P resultem em Prod equivalentes à utilização de doses normais, parte do P utilizado é proveniente do solo.

A lei de Mitscherlich ou lei dos incrementos decrescente (Raij, 2011) explica as diferenças observadas para os resultados de IEA e IEP, de modo que maiores doses ou aumentos contínuos de doses resultarão em menor incremento de produção. Sakurada et al. (2016) observaram que quanto menor a dose de P, maior foi o IEA no primeiro cultivo de plantas de milho. Entretanto, quarto cultivo foi constatado o efeito contrário, de modo que os resíduos dos fertilizantes aplicados no primeiro cultivo resultaram em maior IEA com o aumento das doses.

Comportamento semelhante foi constatado para os valores de IEP (Tabela 12), mostrando que a exportação do P com base no que foi aplicado é maior para as doses reduzidas de P. Embora em teoria, o IEP represente o quanto do P aplicado está sendo exportado pelos grãos, na prática este índice representa um balanço entre o que está sendo adicionado ao solo e o que está sendo exportado da área ou podendo ser chamada de recuperação aparente de P (Pottker e Roman, 1998). Dessa forma, com base nas condições do presente trabalho e para todos os fertilizantes testados, a tendência é que valores de IEP sejam maiores quando é feito uso de doses menores e em condições ambientais que favoreçam o desenvolvimento da cultura, corroborando as diferenças observadas para IEA. Embora as mesmas doses de P tenham sido aplicadas em todas as safras, a média do IEP16 mostrou-se numericamente menor que dos outros anos devido a fatores climáticos que prejudicaram o desenvolvimento da cultura.

Couto (2011) e Frazão et al. (2019) também observaram redução do IEP com o aumento das doses de P aplicadas na cultura do milho. Além disso, Frazão et al. (2019)

constatarem que diferentes tipos de solos apresentam diferentes IEP por influência da CMAP e que em solos com alta CMAP (Oxisol) não foram observadas diferenças de IEP entre fertilizantes minerais e organominerais. Os resultados do presente trabalho também não apresentaram diferença entre os fertilizantes organominerais e mineral corroborando os resultados de Frazão et al. (2019).

Valores de IEP acima de 100%, como observados para IM66 e OG66 (IEP15) e para OG66 (IEP17) demonstram que as quantidades exportadas de P foram maiores que as quantidades fornecidas pelos fertilizantes. Em longo prazo, a utilização de doses reduzidas de P e que não reponham a exportação pelos grãos pode resultar na redução dos níveis de P no solo. Os índices de correlação (Anexo 6, 7 e 8) entre os parâmetros analisados mostram que ao longo das safras a quantidade de correlações significativas aumentou. Embora a maior parte dos índices esteja em níveis médios e baixos, isso pode ser um indicativo de que com o tempo os parâmetros analisados sejam mais responsivos às variáveis controladas no trabalho.

Embora a menor relação C/N da cama de aviário resulte na mineralização mais rápida, caracterizando um composto orgânico mais lábil, essa também resulta na degradação dos ácidos orgânicos, tornando menor o efeito benéfico dos ácidos orgânicos na prevenção dos processos de fixação e precipitação de P. Neste caso, compostos orgânicos mais recalcitrantes tendem a promover efeitos benéficos mais prolongados resultando na maior disponibilidade de P.

Os IC que apresentaram níveis elevados são, em sua totalidade, derivados um do outro. Ou seja, para obtenção do SProd, por exemplo, os resultados de Prod foram utilizados e é esperado que essa dependência entre os parâmetros resulte em IC elevados. Ainda que as demais correlações tenham resultado em índices com níveis médios ou baixos, reflexões importantes podem ser realizadas.

Na safra 2014/15, os IC de Pf com Prod, foi 0,31, índice considerado baixo (Anexo 8). Ao longo das safras seguintes os IC foram de 0,56 e 0,66, para 2015/16 e 2016/17, respectivamente, demonstrando que os valores elevados ou adequados de Pf podem resultar em Prod alta, caso nenhum outro fator externo interfira (Tabela 16 e 17). O mesmo pode ser observado com PsA e PsB, que na primeira safra não apresentaram IC significativos com nenhuma variável e ao longo das safras, o número de IC com outros parâmetros foram surgindo.

Os resultados ao longo dos três cultivos de soja têm demonstrado a tendência de que as diferenças entre os tratamentos vão se intensificando ao longo do tempo. O uso contínuo de doses baixas e que não reponham o P exportado pelas culturas promoverão a redução dos níveis de P no solo. A partir do momento em que o solo apresente níveis baixos de P e não receba quantidades suficientes para o desenvolvimento das culturas, a tendência é que nestas doses ocorra uma tendência de redução de produtividade.

Entretanto, devido ao longo período de adubações fosfatadas com elevadas doses de P que promoveram um acúmulo de P no solo, não é possível definir com exatidão em quanto tempo a exaustão de P pode ocorrer (Withers et al., 2018). Dessa forma, a continuidade do presente trabalho bem como o desenvolvimento de mais trabalhos que busquem a promoção de manejos mais eficientes de P são essenciais para responder dúvidas relacionadas à sustentabilidade uso do P na agricultura (Withers et al., 2014 e 2018).

### **3.6 CONCLUSÕES**

O fornecimento de P para a cultura de soja em Latossolo Vermelho eutroférico com teores de P de 12,14 (0 a 20 cm) resulta em ganhos significativos de produtividade, independentemente do tipo de fertilizantes e dos elevados teores de P no solo.

Não foram verificadas diferenças entre os fertilizantes organominerais e mineral para as variáveis Prod, SProd, IEA e IEP, confirmando a hipótese de que a eficiência dos fertilizantes organominerais fosfatados não difere dos fertilizantes minerais. Os fertilizantes organominerais não apresentaram diferença entre as doses normal e reduzida para as variáveis Prod e SProd enquanto o para o fertilizante mineral a dose normal foi mais produtiva.

Nas condições do presente trabalho, o fertilizante OG mostrou maior Prod, SProd e IEA que o OM e OP, mostrando que entre os fertilizantes organominerais o OG foi o mais eficiente. Os fertilizantes não apresentaram efeito no COS. Já para Ps e Prem, os efeitos da adubação se expressaram na última safra. Na safra 2016/17, houve efeito positivo da adubação em comparação à testemunha e do maior efeito residual das doses normais em relação às reduzidas para Ps, não havendo diferença entre os fertilizantes organominerais e mineral. O Prem mostrou o mesmo comportamento, porém concentrado na profundidade de 10 – 20 cm. Isso demonstra que o uso de doses reduzidas ou a não adubação com P nas

condições do presente trabalho resultará na redução dos níveis de P no solo com o passar do tempo. Não sendo, assim, uma prática que consiga sustentar níveis elevados de produtividade por não suprir a demanda de P da cultura ao longo de seu ciclo.

A correlação entre Pf e Prod aumentou ao longo das três safras, demonstrando que o estado nutricional da cultura baseado nos teores foliares de P pode espelhar em uma Prod proporcional. Com base nesse comportamento, provavelmente mais diferenças tendem a surgir ao longo do tempo.

### **3.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Baseado nos resultados observados no presente trabalho julga-se necessário sua continuidade a fim de se obter resultados futuros que colaborem para um melhor manejo da adubação com fertilizantes organominerais. Entretanto, a tendência é que com o tempo os fertilizantes organominerais e mineral comecem a apresentar diferença em sua eficiência no desenvolvimento das culturas e na disponibilidade de P no solo.

## REFERÊNCIAS

ABDALA, D. B.; DA SILVA, I. R.; VERGUTZ, L.; SPARKS, D.L. Long-term manure application effects on phosphorus speciation, kinetics and distribution in highly weathered agricultural soils. *Chemosphere*, 119, p.504-514, 2015.

ABDALA, D. B.; GHOSH, A. K.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ.V., V. H. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.162, pp.15-23, 2012.

ABISOLO – Associação Brasileira de Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal 2015. 2015 <https://abisolo.com.br/anuario/> (accessed Jan 3, 2019).

ABISOLO – Associação Brasileira de Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal 2018. 2018. <https://abisolo.com.br/anuario/> (accessed Jan 3, 2019)

ABPA-Associação Brasileira de Proteína Animal. Annual Report. São Paulo. 2018. <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf> (accessed Jan 3, 2019).

ADAMI, P.F. Intensidade de pastejo e níveis de cama de aviário em sistema de integração lavoura-pecuária. Tese Doutorado,. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 2012. 111p.

ADELI, A.; SHANKLE, M.W.; TEWOLDE, H. Nutrient Dynamics from Broiler Litter Applied to No-Till Cotton in an Upland Soil. *Agronomy Journal*, v.100, p.564-570, 2008.

ALMEIDA, A. P. V.; SILVA, E.; SILVA, V. P.; ZAGO, B. W.; OLIVEIRA, B. S. Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes do município de Tangará da Serra – MT. *Enciclopédia Biosfera*, v.9, n.17, p.2241-2249, 2013.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfato em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.985-1002, 2003.

ALVAREZ V., V. H. e FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfato e para ensaios de casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:49-55, 1990.

ANDRADE, F. V., MENDONÇA, E. S., ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27 n. 6, p.1003-1011. 2003. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600004>

ANTILLE, D. L.; GODWIN, R. J.; SAKRABANI, R.; SENEWEERA, S.; TYRREL, S. F.; JOHNSTON, A. E. Field-scale evaluation of biosolids-derived organomineral fertilizers applied to winter wheat in England. *Agronomy Journal*, v. 109,n.2, p.654-674, 2017. DOI: 10.1021/jf60213a054

ARAÚJO, A.P. & MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S., ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.253-280. 2006.

AVILA, V. S DE.; ABREU, V. M. N.; DE FIGUEIREDO, É. A. P.; DE BRUM, P. A. R.; DE OLIVEIRA, U. Valor agrônômico da cama de aviários após reutilização por vários lotes consecutivos. Comunicado Técnico 466. EMBRAPA, Concórdia , SC. 2007.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BARBER, S.A. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. New York: Willey Interscience, 1984.

BASSIRI, A. E NAHAPETIAN, A. Differences in concentrations and interrelationships of phytate, phosphorus, magnesium, calcium, zinc, and iron in wheat varieties grown under dryland and irrigated conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.25, n.5, p.1118-1122, 1977.

BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; CRUZ, M. C. P. DA; CENTURION, M. A. P. DA C.; SYLVESTRE, T. DE B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.7, p.783-790, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000700011>

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.4, p.639-646, 2003. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400008>

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. BRASIL. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, 2010.

BERNHART, M.; FASINA, O. O.; FULTON, J.; WOOD, C. W. Compaction of poultry litter *Bioresource Technol.*, v.101, p.234-238, 2010.

BEUSEN, A. H. W., BOUWMAN, A. F., VAN BEEK, L. P. H., MOGOLLÓN, J. M.; MIDDELBURG, J. J.: Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20<sup>th</sup> century despite increased retention along the aquatic continuum, *Biogeosciences*, v.13, p.2441-2451, 2016. <https://doi.org/10.5194/bg-13-2441-2016>

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. Mapa de solos de estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro, EMBRAPA Floresta, EMBRAPA Solos, Instituto Agronômico do Paraná, 2008, 74 p.

BORGES, B. M. M. N.; ABDALA, D. B.; SOUZA, M. F. DE.; VIGLIO, L. M.; COELHO, M. J.A.; PAVINATO, P. S.; FRANCO, H. C. J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. *Geoderma* v.339, p.20-30. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036>

BORGES, R. E.; MENEZES, J. F. S.; SIMON, G. A.; BENITES, V. Eficiência da adubação com organomineral na produtividade de soja e milho. *Global Science and Technology*, v.8, n.1, p.177 – 184, 2015. DOI: 10.14688/1984-3801

BRADY, N. C. e WEIL, R. R. Elemento da natureza e propriedades dos solos. 3ed. Bookman LTDA, 2012. 716 p.

BRATTI, F. C. Uso da cama de aviário como fertilizante orgânico na produção de aveia preta e milho. (Dissertação de mestrado) Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Universidade Tecnológica Federal do Paran. Dois Vizinhos, 2013.

BRONDI, A. M.; DANIEL, J. S. P.; CASTRO, V. X. M. DE.; BERTOLI, A. C.; GARCIA, J. S.; TREVISAN, M. G. Quantification of Humic and Fulvic Acids, Macro- and MicroNutrients and C/N Ratio in Organic Fertilizers, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.47, n.22, p.2506-2513, 2016. DOI: 10.1080/00103624.2016.1254791

BULEGON, L. G.; CASTAGNARA, D. D.; ZOZ, T; DE OLIVEIRA, P. S. R.; DE SOUZA, F. H. Análise econômica na cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à mineral. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v.16, n.2, p. 81-91, 2012.

CAIONE, G.; R. PRADO, DE M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. DE L.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Response of Sugarcane in a Red Ultisol to Phosphorus Rates, Phosphorus Sources, and Filter Cake. *The Scientific World Journal*, v.2015, ID 405970, 10p. 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/405970>.

CASTELLANOS, J. Z. e PRATT, P. F. Mineralization of manure nitrogen – Correlation with laboratory indexes. *Soil. Science. Sociology American Journal*, v.45, p.354 - 357, 1981.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CESSA, R. M. A.; VITORINO, A. C. T.; CELI, L.; NOVELINO, J. O. & BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1535-1542, 2010.

COELHO, R. M.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A. Solos da Mata Atlântica. In: CURI et al. (Ed). 27 *Pedologia: solos dos Biomas Brasileiros*. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 261-302 p.

CONAB. 2018a custos de produção disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/406-planilhas-de-custos-de-producao-culturas-de-1-safra>>

CONAB. Acomp. safra bras. grãos, v. 6 Safra 2018/19 -Terceiro levantamento, Brasília, ISSN 2318-6852. dezembro 2018b. 127p

CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.893-900, 2003.

CORRÊA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; NICOLOSO, R. DA S.; LOURENÇO, K. S.; MARTINI, R. Organic, organomineral, and mineral fertilizers with urease and nitrification inhibitors for wheat and corn under no-tillage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.8, p.916-924, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800003>

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M. E ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O. SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 229-235, 2009.

COUTO, R. L. do. Quantificação de fósforo por diferentes extratores e eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados na absorção de nutrientes pelo milheto. Dissertação de Mestrado. Universidade de Rio Verde, Rio Verde-GO, 2011, 42p.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. DOS S.; FIGUEIREDO, V. S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro Indústria química. *BNDES Setorial* 45, p.137-187. 2017.

DEEKS, L. K.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; SAKRABANI, R.; GEDARA, S.; LE, M. S.; TYRREL, S.; PAWLETT, M.; READ, R.; SMITH, G. H. A new sludge-derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers. *Agron. Sustain. Dev.* v.33, n.3, p.539-549, 2013. doi: 10.1007/s13593-013-0135

DEVI, K. N.; L. SINGH, N. K.; DEVI, T. S.; DEVI, H. N.; SINGH, T. B.; SINGH, K. K.; SINGH, W. M. Response of Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] to Sources and Levels of Phosphorus. *Journal of Agricultural Science*; v. 4, n. 6; 2012.

DIAS, R. de C.; TEIXEIRA, P. C.; POLIDORO, J. C.; RAGUZZONI, K.; ZONTA, E. Produção de matéria seca em plantas de milho em função da aplicação de fertilizante organomineral fosfatado. *CBCS 35. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 2015.

DOU,Z.; RAMBERG, C. F.; TOTH, J. D.; WANG, Y.; SHARPLEY, A. N.; BOYD, S. E.; CHEN, C. R.; WILLIAMS, D.; XU, Z. H. Phosphorus speciation and sorption-desorption characteristics in heavily manured soil. *Soil Science Society of America Journal*. v. 73, n. 1, 2009.

EDWARDS, D. R. e DANIEL, T. C. Environmental impacts of farm poultry waste disposal – A review. *Biores. Technology*, v.41, p.9-33, 1992.

EMBRAPA Soja. *Sistemas de Produção*, 16. Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p.

EMBRAPA; SILVA F. C. da. (editor).Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ed. Brasília, 2009. 627 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 400 p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.1, p.6-16, 1998. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p6-16>

FERREIRA, N. R. Eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluidos em relação à disponibilidade de fósforo. (Dissertação de Mestrado) UNESP, Botucatu – SP, 2014, 67p.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.4, p.369-379, 2016a. <https://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016404023016>

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy *Soil Tillage Res.*, v.155, p. 62-68, 2016b. [10.1016/j.still.2015.07.017](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.017)

FIXEN, P. E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. *Informações agrônômicas*, n.126. IPNI, Junho/2009.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MORAES, R. P. DE. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.6, p.1907-1914, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600015>

FRAZÃO, J. BENITES, V. RIBEIRO, J. PIEROBON, V. LAVRES, J. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses *Geoderma* v.337, p.582-593, 2019. DOI: [10.1016/J.GEODERMA.2018.10.003](https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.10.003)

FRYDENVANG, J.; VAN MAARSCHALKERWEERD, M.; CARSTENSEN, A.; MUNDUS, S.; SCHMIDT, S. B.; PEDAS, P. R.; LAURSEN, K. H.; SCHJOERRING, J. K.; HUSTED, S. Sensitive Detection of Phosphorus Deficiency in Plants Using Chlorophyll a Fluorescence. *Plant physiology*, v.169, n.1, p.353-361, 2015.

FUKAYAMA, E. H. Características quantitativas e qualitativas da cama de aviário sob diferentes reutilizações: Efeito na produção de biogás e biofertilizante. (Tese de doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

GALE, P. M. e GILMOUR, J. T. Carbon and nitrogen mineralization kinetics for poultry litter. *J. Environ. Qual.*, v.15, p.423-426, 1986.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI J.; RHEINHEIMER, D. DOS S. & FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.691-699, 2007.

GEBRIM, F. DE O.; NOVAIS, R. F.; DA SILVA, I. R.; SCHULTHAIS, F.; VERGÜTZ, L.; PROCÓPIO, L. C.; MOREIRA, F. F.; DE JESUS, G. L. Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34; p.1195-1205, 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E. E.; AMARAL, E. B. DO. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesq. agropec. bras.* Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J.; BORTOLON, L. & GONÇALVES, D. R. N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1633-1639, 2011.

GRANT, C. A.; PLATEN, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.95, 2001.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed.). *Marschner's Mineral nutrition of higher plants*. New York: Elsevier, cap.6, p.135-189, 2012.

HEAL, W.; ANDERSON, J. M. e SWIFT, M. J. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In: CADISCH, G. e GILLER, K.E., eds. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. Wallingford, CAB International, p.3-30, 1997.

HERNÁNDEZ, J. e MEURER, E. J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.223-230, 1998.

HUA, Q. X.; LI, J. Y.; ZHOU, J. M.; WANG, H. Y.; DU, C. W.; CHEN, X. Q. Enhancement of phosphorus solubility by humic substances in Ferrosols *Pedosphere*, v.18, p.533-538, 2008.

KIEHL, E. J. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIEHL, E. J. *Fertilizantes Organominerais*. Piracicaba, 1993, 189p.

KIEHL, E. J. *Novo Fertilizantes Orgânicos*. Piracicaba, 2010, 248p.

KINGERY, W. L.; WOOD, C. W.; DELANEY, D. P.; et al. Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. *Journal Environmental Quality*, v.23, p.139-147, 1994.

KONZEN, E. A. e ALVARENGA, R. C. Cultura do milho. Fertilidade de solos. Adubação orgânica. In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V Seminário técnico da cultura de milho. Videira, 2007.

LANA, M. DO C.; RAMPIM, L. E.; VARGAS, G. adubação fosfatada no milho com fertilizante organomineral em Latossolo Vermelho eutrófico. *GST*.v.7, n.1, p.26-36, 2014. doi: 10.14688/1984-3801

LUPWAYI, N. Z.; CLAYTON, G. W.; O'DONOVAN, J. T.; HARKER, K. N.; TURKINGTON, T. K.; SOON, Y. K. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Res. Soil Till.*, v. 95, p. 231-239, 2007.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. Fertilizantes e adubação. Reimpressão em 2011, São Paulo, NOBEL, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MAPA. Instrução normativa SDA Nº 25, de 23 de Julho de 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União Seção 1, Página 20, de 28/07/2009.

MAPA. Projeções do agronegócio: Brasil 2012/2013 A 2022/2023. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão estratégica 96p. Brasília: MAPA/ACS, 2013.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3ed. London, Academic Press, 643p.2012.

MARTINS, D.; RESENDE, Á.; GALVÃO, J.; SIMÃO, E.; FERREIRA, J.; ALMEIDA, G. Organomineral Phosphorus Fertilization in the Production of Corn, Soybean and Bean Cultivated in Succession. *American Journal of Plant Sciences*, v.8, p.2407-2421, 2017. doi: 10.4236/ajps.2017.810163.

MAYER, B. K.; BAKER, L. A.; BOYER, T. H.; DRECHSEL, P.; GIFFORD, M.; HANJRA, M. A.; PARAMESWARAN, P.; STOLTZFUS, J.; WESTERHOFF, P.;

RITTMANN, B. E. Total Value of Phosphorus Recovery. *Environmental Science & Technology* v. 50 n.13, p. 6606-6620. 2016. DOI: 10.1021/acs.est.6b01239

MAZEIKA, R.; DAMBRAUSKAS, T.; BALTAKYS, K.; MIKOLAJUNAS, M.; STAUGAITIS, G.; VIRZONIS, D.; BALTRUSAITIS, J. Molecular and morphological structure of poultry manure derived Organo-Mineral Fertilizers (OMFs). *ACS Sustain. Chem. Eng.* v.4, p.4788–4796, 2016.

MAZOYER, M. e ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. Trad. Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo: UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MELLO, S. C.; PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C. Efeitos de fertilizantes orgânicos na nutrição e produção do pimentão. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.18, n.3, p.200-203, 2000.

MELO, D. DE.; BRANDÃO, W. T. DE M.; NÓBREGA, L. H. P. E WERNCKE, I. Qualidade de sementes de soja convencional e Roundup Ready (RR), produzida para consumo próprio e comercial. *Revista de Ciências Agrárias*, v.39, n.2, p.300-309, 2016. <https://dx.doi.org/10.19084/RCA15072>

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre:Gênesis, 2004. 290p.

MITCHELL, C. C. e TU, S. Nutrient accumulation and movement from poultry litter. *Soil Science Society of America Journal*. v.70, p.2146–2153, 2006.

MOGOLLÓN, J. M.; BEUSEN, A. H. W.; VAN GRINSVEN, H. J. M.; WESTHOEK, H.; BOUWMAN, A. F. Future agricultural phosphorus demand according to the shared socioeconomic pathways. *Global Environmental Change*, v.50, p.149–163, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.03.007>

MOTOMIYA, W. R.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.307-312, 2004.

MUNDSTOCK, C. M. E THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Evangraf. 2005.

NOLLA, A. e ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em Latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. *R. Bras. Ci. Solo*, v.30, p.955-963, 2006.

NOVAIS, R. F.; KAMPRATH, E. J. Parâmetros de isoterma de adsorção de P como critério de recomendação de adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 3, n. 1, p. 37-41, 1979.

NOVAIS, R. F. e SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. e NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.471-537, 2007.

OCEPAR, CUSTOS DE PRODUÇÃO DE FRANGOS E SUÍNOS PARANÁ. Sistema OCEPAR .Curitiba-PR, 2007.

OJO J. A.; OLOWOAKE, A. A.; OBEMBE, A. Efficacy of organomineral fertilizer and un-amended compost on the growth and yield of watermelon (*Citrullus lanatus* Thumb) in Ilorin Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Int J Recycl Org Waste Agric.* v.3, p.121–125, 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. DE; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean Yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. *Sci. Agric.* v.68, n.3, p.376-385, 2011.

OLIVEIRA, J. B. DE. *Pedologia aplicada*. 2.ed. Piracicaba:ESALQ, 2005, 574p.

OLSEN, S.R., e F.E. KHASAWNEH. Use and limitations physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. p. 361-410. In Kasawneh, F. E.; Samples, E. N. C. e Kamprath E. J. (ed.) *The role of phosphorus in agriculture*. S Sci. Soc. Am., Madison, WI. 1980.

PÁDUA, G. P. DE.; ZITO, R. K.; ARANTES, N. E.; FRANÇA NETO, J. DE B. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. *Revista Brasileira de Sementes.* v.32, n.3, p.9-16, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000300001>

PAGLIARI, P. H. E LABOSKI, C. A. M. Investigation of the inorganic and organic phosphorus forms in animal manure. *J. Environ. Qual.* v.41, p.901-910, 2012. doi: 10.2134/jeq2011.0451.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. D.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. IAPAR. Circular, 76, Londrina, Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. 40p.

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.3, p.1043-1053. 2012.

PÖTTKER, D. e ROMAN, E.S. Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta de milho a nitrogênio. Pesq. Agropec. Bras. v.29, p.763-770, 1994.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RAIJ, B. van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T. e ABDALLA, S. R. S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, p.563-582, 2004.

RAJAN, S. S. S. e WATKINSON, J. H. Unacidulated and Partially acidulated phosphate rock: Agronomic effectiveness and the rates of dissolution of phosphate rock. Fertilizer Research. v.33, p.267-277, 1992. <https://doi.org/10.1007/BF01050882>

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; ÁVILA, F. W. DE & SAMPAIO, R. A. Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p.89-96, 2010.

REETZ Jr., H. F. Fertilizers and their efficient use. IFA - International Fertilizer Industry Association, Paris. 2016.

RESENDE, A. V. DE; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N. ; FAQUIN, V.; KIMPORA, D. I.; SANTOS, J. Z. L. & CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.453-466, 2006.

RHEINHEIMER, D. S. e ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.34, n.15/16, p.2339-2354, 2003.

ROPPA, A.; DA ROSA, G. M.; GABRIEL, M.; WASTOWSKI, A. D.; DA SILVA, J. C.; ZENI, C. Análise dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio em camas de aviário para adubação orgânica. Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais. Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2012.

ROSOLEM, C.A. e TAVARES, C.A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.2, p.385-389, 2006.

SÁ, J. M.; JANTALIA, C. P.; TEIXEIRA, P. C.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V. M.; ARAÚJO, A. P. Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.52, n.9, p.786-793, 2017. doi: 10.1590/s0100-204x2017000900011

SAKURADA L., R.; BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; MUNIZ, A. S.; PAGLIARI, P. H. Organomineral Phosphate Fertilizers: Agronomic Efficiency and Residual Effect on Initial Corn Development. *Agron. J.* v.108, p.1-10, 2016. doi: 10.2134/agronj2015.0543

SAKURADA L., R.; MUNIZ, A. S.; SATO, F.; INOUE, T. T.; MEDINA NETO A.; BATISTA, M. A. Chemical, thermal and spectroscopic analysis of organomineral fertilizer residue recovered from an oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v. 83 p. 409-418, 2019. doi: 10.2136/sssaj2018.08.0294

SANTOS, D. R. DOS.; GATIBONI, L. C., E KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.38, n.2, p.576-586, 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>

SANTOS, T. C. DOS.; GOMES, D. P. P.; PACHECO, C. S. V.; FERREIRA, A. N.; FRANCO, M. Fitorremediação: avaliação do potencial de recuperação em solos contaminados com metais pesados. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.12, 2011.

SANTOS, T. M. B. dos. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte. (Dissertação de mestrado) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997, 95p.

SARTORI, A. F.; STAUFFER, E.; ANDRADE, F. V. Fluxo difusivo de fósforo em Latossolo em função de fertilizantes de eficiência aumentada. XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba. 2017. [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/RE\\_1009\\_0874\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_1009_0874_01.pdf)

SATO, S. e COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid Brazilian. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.685-694, 2005.

SCBS/NEPAR - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 1.ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

SHEN, H. Y.; WANG, Z. J.; ZHOU, A. M.; CHEN, J. L.; HU, M. Q.; DONG, X. Y.; XIA, Q. H. Adsorption of phosphate onto amine functionalized nano-sized magnetic polymer adsorbents: Mechanism and magnetic effect, *RSC Adv.*, v.5, p.22080–22090. 2015.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, ZHAOHAI.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant Plant. *Physiology*. v.156, n.3, p.997-1005, 2011. DOI: 10.1104/pp.111.175232

SHIMAKURA, S. E. Interpretação do coeficiente de correlação. 2006. <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html> (accessed Jan 3, 2019).

SINGH, Y.; GUPTA, R. K.; THIND, H. S.; Poultry litter as a nitrogen and phosphorus source for the rice–wheat cropping system. *Biology Fertilization Soils*, v.45, p.701-710, 2009.

SMITH, G.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; LE, M. The Effect of Organo-Mineral Fertilizer Applications on the Yield of Winter Wheat, Spring Barley, Forage Maize and Grass Cut for Silage. *Journal of Environmental Protection*, v.6, p.103-109. 2015. doi: 10.4236/jep.2015.62012.

SONODA, L. T. Reutilização de camas de frango utilizando conceitos de compostagem. (Dissertação de Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP, 2011.

SOUZA, C. R. DE; GHOSH, A. K.; DA SILVA, I. R.; DE ALVARENGA, E. S.; NOVAIS, R. F.; DE JESUS, G. L. Phosphorus transformation in poultry litter and litter-treated oxisol of Brazil assessed by <sup>31</sup>P-NMR and wet chemical fractionation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36; p1516-1527, 2012.

SOUZA, R. F. DE.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. DE.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1535-1544, 2007. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600030>

SOUZA, R. F. DE.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.6, p.975-983. 2006. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000600007>

- SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York, Oxford. 2008. 330p.
- STEVENSON, F J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. New York: J. Wiley, 496p, 1994.
- STEVENSON, F. J. e COLE, M. A. Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1999.
- TAIZ, L. e ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. Trad. Eliane R. Santarém et al., 3 ed., Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.
- TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X. e KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-deaçúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. Bioscience Journal, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/22156/15610>>.
- TESSELE, A.; KREINCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT A. J. P.; LORENZETTI, J. Desempenho de cultivares de soja intacta em Marechal Cândido Rondon, oeste paranaense. Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v.16, n.2, p.200-205, 2017.
- TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.48, n. 4, p.853-858, 1984.
- TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; TIRLONI, D. E COIMBRA, D. S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. Ciência e Agrotecnologia, v.33, n.4, p.977-984. 2009. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000400006>
- TRANI, P. E.; TERRA, M. M.; TECCHIO, M. A. et al. Adubação Orgânica de Hortaliças e Frutíferas. Instituto Agrônomo de Campinas, IAC, 2013.
- USGS - U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries 2009: U.S. Geological Survey, 195 p.
- VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G. e ANJOS, L. H. C. Phosphate sorption in low activity clay soils. Bragantia, v.62, p.111-118, 2003.
- VAN KAUWENBERGH, S. J.; STEWART, M. e MIKKELSEN, R. World reserves of phosphate rock...a dynamic and unfolding story. Better Crops, v.97, p.18-20, 2013.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S. DA; HOEPERS, A. e SOUZA JUNIOR, I. G. DE. Capacidade máxima de adosrção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1059-1068, 2010.

WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. H.M. Stationery Office, London. 1951.

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

WITHERS, P. J. A. SYLVESTER-BRADLEY, R.; JONES, D. L.; HEALEY, J. R. e TALBOYS, P. J. Feed the Crop Not the Soil: Rethinking Phosphorus Management in the Food Chain. *Environmental Science & Technology*, v.4, n.12, p.6523-6530, 2014. DOI: 10.1021/es501670j

WITHERS, P. J. A.; ELSER, J. J.; JULIAN, H.; HISAO, O.; SCHIPPER, W. J.; VAN, D. K. C. Greening the global phosphorus cycle: How green chemistry can help achieve planetary P sustainability. *Green Chem.*, v.17, p.2087–2099, 2015.

WITHERS, PAUL J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S. DE; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. DE M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G. DE; NUNES, R DE S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA JR., A. DE; COUTINHO, E. L. M. E PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, v.8, n.2537, 2018.

ZHANG, H. Animal Manure Can Raise Soil pH. *Production technology*, Department of Plant and Soil Sciences. v.10. n.7, 1998.

## ANEXOS

### Anexo I. Análise descritiva dos parâmetros medidos para solo e soja.

Variável	Unidade	N	Média	Desv. Pad.	Min.	Máx.
SProd15	kg ha <sup>-1</sup>	36	9273,0	1024,00	6133,0	11140,0
Prod15	kg ha <sup>-1</sup>	36	3528,0	263,28	2761,0	4190,0
Prod16	kg ha <sup>-1</sup>	36	2636,0	250,97	1795,0	3135,0
Prod17	kg ha <sup>-1</sup>	36	3109,0	623,14	1283,0	4279,0
MMG15	g	36	150,6	5,91	134,6	162,9
MMG16	g	36	134,7	5,10	125,4	144,2
MMG17	g	36	116,2	6,68	102,9	129,6
Pexp15	kg ha <sup>-1</sup>	36	17,0	1,60	11,6	19,7
Pexp16	kg ha <sup>-1</sup>	36	13,5	1,40	9,0	16,5
Pexp17	kg ha <sup>-1</sup>	36	16,6	3,24	6,4	22,1
Pf15	mg kg <sup>-1</sup>	36	3,4	0,18	2,9	3,8
Pf16	mg kg <sup>-1</sup>	36	2,7	0,19	2,3	3,1
Pf17	mg kg <sup>-1</sup>	36	1,5	0,16	1,2	1,9
Pg15	mg kg <sup>-1</sup>	36	4,8	0,20	4,2	5,2
Pg16	mg kg <sup>-1</sup>	36	5,1	0,24	4,4	5,9
Pg17	mg kg <sup>-1</sup>	36	5,3	0,26	4,7	5,8
PsA15	mg dm <sup>-3</sup>	36	14,4	3,63	7,9	22,4
PsA16	mg dm <sup>-3</sup>	36	14,9	2,99	10,5	21,0
PsA17	mg dm <sup>-3</sup>	36	16,7	6,95	6,6	36,8
PremA15	mg dm <sup>-3</sup>	36	24,2	1,33	21,5	26,9
PremA16	mg dm <sup>-3</sup>	36	23,5	1,20	21,4	26,1
PremA17	mg dm <sup>-3</sup>	36	19,2	1,20	16,8	23,1
COSA15	g dm <sup>-3</sup>	36	22,2	2,66	17,6	30,0
COSA16	g dm <sup>-3</sup>	36	21,7	1,94	17,8	27,9
COSA17	g dm <sup>-3</sup>	36	16,7	1,32	12,7	19,1
PsB15	mg dm <sup>-3</sup>	36	6,3	2,43	2,6	13,6
PsB16	mg dm <sup>-3</sup>	36	13,8	4,13	8,6	25,7
PsB17	mg dm <sup>-3</sup>	36	13,2	7,89	3,5	39,7
PremB15	mg dm <sup>-3</sup>	36	18,4	1,52	16,4	22,1
PremB16	mg dm <sup>-3</sup>	36	20,6	1,32	16,2	22,8
PremB17	mg dm <sup>-3</sup>	36	16,7	1,31	13,7	19,7
COSB15	g dm <sup>-3</sup>	36	15,4	2,01	12,4	21,6
COSB16	g dm <sup>-3</sup>	36	19,2	1,54	15,5	22,7
COSB17	g dm <sup>-3</sup>	36	14,9	1,53	11,8	17,9
IEA15	g g <sup>-1</sup>	32	22,4	15,81	-0,3	58,0
IEA16	g g <sup>-1</sup>	32	20,9	15,12	-10,8	51,6
IEA17	g g <sup>-1</sup>	32	64,6	28,81	23,2	133,8
IEP15	%	32	82,7	18,18	59,3	112,6
IEP16	%	32	65,9	13,74	47,0	86,9
IEP17	%	32	82,6	16,63	60,6	117,2

**Anexo 2.** Valores de *p*-valor dos contrastes para os parâmetros de solo e soja.

C	1	2	3	4	5	6	7	8
SProd*	0,0000*	0,4833	0,0018*	0,3931	0,0633*	0,5762	0,7343	0,5137
Prod15*	0,0001*	0,9403	0,0563*	0,3239	0,9382	0,3443	0,6839	0,7297
Prod16*	0,0004*	0,3004	0,0605*	0,7862	0,0571*	0,3395	0,4271	0,8885
Prod17*	0,0000*	0,5242	0,0008*	0,2741	0,0415*	0,3508	0,1947	0,3035
MMG15ns	0,0127	0,9245	0,3025	0,7466	0,3858	0,4405	0,3537	0,9152
MMG16ns	0,6127	0,8022	0,7519	0,8848	0,0476	0,2539	0,1328	0,9739
MMG17*	0,0007*	0,0668*	0,0001*	0,9375	0,1170	0,8115	0,2327	0,4563
Pf15ns	0,2650	0,3389	0,8065	0,7928	0,9544	0,7751	0,3947	0,7971
Pf16*	0,0032*	0,0664*	0,9670	0,6165	0,5223	0,2183	0,2706	0,1458
Pf17*	0,0007*	0,0647*	0,0027*	0,6207	0,0055*	0,0136*	0,8758	0,5601
Pg15ns	0,3186	0,0952	0,1998	0,6804	0,8294	0,6083	0,7631	0,4198
Pg16ns	0,0595	0,8776	0,1208	0,6274	0,3386	0,2986	0,1360	0,2798
Pg17*	0,0186*	0,0060*	0,0000*	0,4247	0,5152	0,0322*	0,1920	0,9683
Pexp15ns	0,0020	0,3475	0,5088	0,3844	0,8658	0,7284	0,6523	0,8388
Pexp16*	0,0001*	0,3834	0,3872	0,5858	0,1956	0,8171	0,9114	0,5041
Pexp17*	0,0000*	0,8484	0,1040	0,2024	0,0585*	0,8163	0,3502	0,2977
PsA15ns	0,8452	0,3893	0,2591	0,2604	0,0570	0,2193	0,3677	0,5822
PsA16ns	0,9986	0,3082	0,1316	0,5263	0,2307	0,4052	0,8460	0,2887
PsA17*	0,0090*	0,8677	0,8625	0,2704	0,0224*	0,8298	0,5463	0,4057
PremA15*	0,4389	0,7449	0,6695	0,1331	0,4871	0,1001	0,0198*	0,1001
PremA16ns	0,0428	0,2462	0,0513	0,5545	0,7196	0,6754	0,7876	0,5309
PremA17ns	0,2860	0,4597	0,6111	0,4867	0,4846	0,8760	0,1762	0,1762
COSA15ns	0,7039	0,2815	0,1611	0,5555	0,6040	0,2935	0,3356	0,1445
COSA16ns	0,2299	0,1493	0,5799	0,6769	0,5564	0,4905	0,2982	0,5395
COSA17ns	0,3177	0,666	0,7122	0,9778	0,6658	0,4343	0,0632	0,3495
PsB15ns	0,8418	0,8311	0,6778	0,7733	0,7121	0,0545	0,1809	0,1889
PsB16ns	0,2313	0,9056	0,0804	0,9171	0,4147	0,1539	0,4735	0,1198
PsB17*	0,0743*	0,2912	0,0699*	0,0775*	0,0427*	0,2902	0,4887	0,7053
PremB15ns	0,8226	0,7841	0,9036	0,5127	0,5412	0,4786	0,8742	0,4431
PremB16ns	0,5628	0,8034	0,6959	0,2466	0,8983	0,5452	0,4842	0,2087
PremB17*	0,0195*	0,0000*	0,1698	0,5850	0,2446	0,0644*	0,0274*	0,6587
COSB15ns	0,3656	0,6498	0,2499	0,2409	0,2264	0,7488	0,2363	0,7895
COSB16ns	0,2769	0,9077	0,5527	0,6068	0,8840	0,7428	0,7985	0,5366
COSB17ns	0,9179	0,0212	0,6990	0,4341	0,5378	0,3474	0,2717	0,8690
IEA15*	-	0,9976	0,0305*	0,3448	0,1674	0,0089*	0,1224	0,2851
IEA16*	-	0,1289	0,0643*	0,6822	0,3035	0,4696	0,0357*	0,1741
IEA17*	-	0,3318	0,0001*	0,1781	0,8976	0,0207*	0,4736	0,1619
IEP15*	-	0,3465	0,4639	0,3572	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
IEP16*	-	0,2240	0,3904	0,6325	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
IEP17*	-	0,9827	0,0669*	0,1829	0,0012*	0,0000*	0,0002*	0,0001*

\* significativas a 10% de probabilidade.

**Anexo 3.** Resumo da análise de variância dos parâmetros medidos do solo durante três safras de soja submetida à adubação e organomineral.

FV	GL	PsA15	PsA16	PsA17	PsB15	PsB16	PsB17	COSA15	COSA16	COSA17	COSB15	COSB16	COSB17	PremA15	PremA16	PremA17	PremB15	PremB16	PremB17
		<i>p-valor</i>																	
<b>Trat</b>	8	0,301	0,516	0,081*	0,436	0,265	0,059*	0,422	0,590	0,560	0,542	0,955	0,348	0,092*	0,239	0,557	0,971	0,794	0,000*
<b>C1</b>	1	0,845	0,999	0,009*	0,842	0,231	0,074*	0,704	0,230	0,318	0,366	0,277	0,918	0,439	0,043	0,286	0,823	0,563	0,020*
<b>C2</b>	1	0,389	0,308	0,868	0,831	0,906	0,291	0,282	0,149	0,667	0,650	0,908	0,021	0,745	0,246	0,460	0,784	0,803	0,000*
<b>C3</b>	1	0,259	0,132	0,863	0,678	0,080	0,070*	0,161	0,580	0,712	0,250	0,553	0,699	0,670	0,051	0,611	0,904	0,696	0,170
<b>C4</b>	1	0,260	0,526	0,270	0,773	0,917	0,078*	0,556	0,677	0,978	0,241	0,607	0,434	0,133	0,555	0,487	0,513	0,247	0,585
<b>C5</b>	1	0,057	0,231	0,022*	0,712	0,415	0,043	0,604	0,556	0,666	0,226	0,884	0,538	0,487	0,720	0,485	0,541	0,898	0,245
<b>C6</b>	1	0,219	0,405	0,830	0,055	0,154	0,290	0,294	0,491	0,434	0,749	0,743	0,347	0,100	0,675	0,876	0,479	0,545	0,064*
<b>C7</b>	1	0,368	0,846	0,546	0,181	0,474	0,489	0,336	0,298	0,063	0,236	0,799	0,272	0,020*	0,788	0,176	0,874	0,484	0,027*
<b>C8</b>	1	0,582	0,289	0,406	0,189	0,120	0,705	0,145	0,540	0,350	0,790	0,537	0,869	0,100	0,531	0,176	0,443	0,209	0,659
<b>Bloc</b>	3	0,841	0,378	0,005	0,403	0,416	0,464	0,009	0,717	0,265	0,138	0,009	0,004	0,418	0,063	0,607	0,254	0,000	0,122
<b>Erro</b>	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CV</b>	%	25,11	20,16	32,52	38,21	28,82	52,74	10,39	9,34	7,9	12,62	7,44	8,47	4,95	4,57	6,42	8,82	4,89	5,21

\* significativas a 10% de probabilidade.

**Anexo 4.** Resumo da análise de variância dos parâmetros medidos na cultura da soja por três safras submetida à adubação mineral e organomineral.

FV	GL	Prod15	Prod16	Prod17	Sprod	MMG15	MMG16	MMG17	Pf15	Pf16	Pf17	Pg15	Pg16	Pg17	Pexp15	Pexp16	Pexp17
		<i>p-valor</i>															
<b>Trat</b>	8	0,008*	0,008*	0,000*	0,000*	0,268	0,413	0,000*	0,903	0,038*	0,000*	0,546	0,191	0,000*	0,121	0,013*	0,000*
<b>C1</b>	1	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,013	0,613	0,001*	0,265	0,003*	0,001*	0,319	0,060	0,019*	0,002	0,000*	0,000*
<b>C2</b>	1	0,940	0,300	0,524	0,483	0,925	0,802	0,067*	0,339	0,066*	0,065*	0,095	0,878	0,006*	0,348	0,383	0,848
<b>C3</b>	1	0,056*	0,061*	0,001*	0,002*	0,303	0,752	0,000*	0,807	0,967	0,003*	0,200	0,121	0,000*	0,509	0,387	0,104
<b>C4</b>	1	0,324	0,786	0,274	0,393	0,747	0,885	0,938	0,793	0,617	0,621	0,680	0,627	0,425	0,384	0,586	0,202
<b>C5</b>	1	0,938	0,057*	0,042*	0,063*	0,386	0,048	0,117	0,954	0,522	0,006*	0,829	0,339	0,515	0,866	0,196	0,059*
<b>C6</b>	1	0,344	0,340	0,351	0,576	0,441	0,254	0,812	0,775	0,218	0,014*	0,608	0,299	0,032*	0,728	0,817	0,816
<b>C7</b>	1	0,684	0,427	0,195	0,734	0,354	0,133	0,233	0,395	0,271	0,876	0,763	0,136	0,192	0,652	0,911	0,350
<b>C8</b>	1	0,730	0,889	0,304	0,514	0,915	0,974	0,456	0,797	0,146	0,560	0,420	0,280	0,968	0,839	0,504	0,298
<b>Bloc</b>	3	0,006	0,606	0,014	0,029	0,005	0,045	0,000	0,298	0,128	0,047	0,219	0,843	0,006	0,031	0,509	0,013
<b>Erro</b>	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CV</b>	%	5,36	7,68	10,63	6,26	3,24	3,46	3,43	5,57	5,94	6,84	4,09	4,49	2,63	7,93	8,49	10,87

\* significativas a 10% de probabilidade.

**Anexo 5.** Resumo da análise de variância dos parâmetros IEA e IEP para as três safras de soja submetida à adubação e organomineral.

FV	GL	IEA15	IEA16	IEA17	IEP15	IEP16	IEP17
		<i>p-valor</i>					
<b>TRAT</b>	7	0,027*	0,081*	0,003*	0,000*	0,000*	0,000*
<b>C1</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>C2</b>	1	0,998	0,129	0,332	0,347	0,224	0,983
<b>C3</b>	1	0,031*	0,064*	0,000*	0,464	0,390	0,067*
<b>C4</b>	1	0,345	0,682	0,178	0,357	0,633	0,183
<b>C5</b>	1	0,167	0,304	0,898	0,000*	0,000*	0,001*
<b>C6</b>	1	0,009*	0,470	0,021*	0,000*	0,000*	0,000*
<b>C7</b>	1	0,122	0,036*	0,474	0,000*	0,000*	0,000*
<b>C8</b>	1	0,285	0,174	0,162	0,000*	0,000*	0,000*
<b>BLOCO</b>	3	0	0	0	0,116	0,705	0,013
<b>ERRO</b>	21	-	-	-	-	-	-
<b>CV</b>	%	37,44	40,96	20,29	7,04	7,55	9,79

\* significativas a 10% de probabilidade.

**Anexo 6. Correlação para os parâmetros analisada na safra 2014/15**

<b>SProd</b>	0,00	0,01	0,00	0,02	0,34	0,79	0,97	0,22	0,70	0,60	0,13	0,84	0,58
<b>0,84</b>	<b>Prod</b>	0,00	0,00	0,07	0,03	0,78	0,48	0,22	0,58	0,18	0,25	0,45	0,05
<b>0,42</b>	<b>0,56</b>	<b>MMG</b>	0,00	0,07	0,02	0,92	0,89	0,14	0,81	0,25	0,54	0,15	0,76
<b>0,70</b>	<b>0,91</b>	<b>0,59</b>	<b>Pexp</b>	0,08	0,00	0,54	0,68	0,44	0,46	0,26	0,30	0,61	0,03
<b>0,40</b>	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>0,29</b>	<b>Pf</b>	0,27	0,69	0,31	0,20	0,46	0,32	0,15	0,88	0,55
0,16	<b>0,35</b>	<b>0,39</b>	<b>0,70</b>	0,19	<b>Pg</b>	0,27	0,86	0,60	0,52	0,88	0,71	0,83	0,27
0,05	0,05	0,02	0,11	0,07	0,19	<b>PsA</b>	0,54	0,58	0,30	0,20	0,95	0,80	0,31
-0,01	0,12	-0,02	0,07	0,17	-0,03	0,11	<b>PremA</b>	0,03	0,67	0,16	0,87	0,48	0,85
-0,21	-0,21	-0,25	-0,13	0,22	0,09	0,10	<b>0,37</b>	<b>COSA</b>	0,73	0,77	0,00	0,00	0,67
0,07	0,09	-0,04	0,13	-0,13	0,11	0,18	0,07	-0,06	<b>PsB</b>	0,23	0,73	0,67	0,12
0,09	0,23	0,20	0,19	0,17	0,03	0,22	0,24	-0,05	0,20	<b>PremB</b>	0,11	0,46	0,95
-0,26	-0,20	-0,10	-0,18	0,25	-0,06	0,01	0,03	<b>0,50</b>	0,06	0,27	<b>COSB</b>	0,01	0,50
0,04	0,14	-0,26	0,09	-0,03	-0,04	0,05	0,13	<b>0,53</b>	-0,08	0,14	<b>0,45</b>	<b>IEA</b>	0,07
-0,10	<b>0,35</b>	0,06	<b>0,40</b>	0,11	0,20	-0,18	0,04	0,08	-0,28	-0,01	0,12	<b>0,33</b>	<b>IEP</b>

Cor azul indica índice alto de correlação, a cor verde indica índice médio de correlação e a cor vermelha indica índice de correlação baixa (Shimakura, 2006).

**Anexo 7.** Correlação para os parâmetros analisada na safra 2015/16

<b>SProd</b>	0,00	0,38	0,00	0,00	0,13	0,24	0,02	0,25	0,08	0,75	0,77	0,73	0,83
<b>0,82</b>	<b>Prod</b>	0,17	0,00	0,00	0,93	0,79	0,02	0,11	0,18	0,69	0,49	0,01	0,55
0,15	0,24	<b>MMG</b>	0,32	0,28	0,57	0,99	0,01	0,46	0,38	0,00	0,93	0,04	0,42
<b>0,84</b>	<b>0,90</b>	0,17	<b>Pexp</b>	0,00	0,01	0,78	0,01	0,14	0,35	0,63	0,52	0,08	0,19
<b>0,63</b>	<b>0,56</b>	0,19	<b>0,69</b>	<b>Pf</b>	0,01	0,71	0,03	0,09	0,54	0,83	0,22	0,29	0,01
0,26	-0,01	-0,10	0,43	0,40	<b>Pg</b>	0,78	0,46	0,95	0,63	0,69	0,97	0,11	0,21
0,20	0,05	0,00	0,05	-0,06	0,05	<b>PsA</b>	0,38	0,35	0,00	0,19	0,76	0,18	0,12
<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,37</b>	0,13	0,15	<b>PremA</b>	0,02	0,53	0,00	0,30	0,90	0,57
0,20	0,27	0,13	0,25	<b>0,29</b>	0,01	0,16	<b>0,39</b>	<b>COSA</b>	0,60	0,27	0,00	0,18	0,74
<b>0,30</b>	0,23	-0,15	0,16	-0,11	-0,08	<b>0,72</b>	0,11	0,09	<b>PsB</b>	0,15	0,40	0,67	0,04
0,06	0,07	<b>0,56</b>	0,08	-0,04	0,07	0,23	<b>0,57</b>	0,19	0,25	<b>PremB</b>	0,23	0,41	0,35
0,05	0,12	-0,02	0,11	0,21	0,01	-0,05	0,18	<b>0,58</b>	0,15	0,21	<b>COSB</b>	0,00	0,71
0,06	<b>0,47</b>	<b>0,37</b>	<b>0,32</b>	0,19	-0,29	-0,24	0,02	0,24	-0,08	0,15	<b>0,55</b>	<b>IEA</b>	0,14
-0,04	0,11	0,15	0,24	<b>0,44</b>	0,23	-0,28	0,10	0,06	<b>-0,36</b>	0,17	0,07	0,27	<b>IEP</b>

Cor azul indica índice alto de correlação, a cor verde indica índice médio de correlação e a cor vermelha indica índice de correlação baixa (Shimakura, 2006).

**Anexo 8.** Correlação para os parâmetros analisada na safra 2016/17

<b>SProd</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,01	0,07	0,10	0,00	0,26	0,35	0,03	0,20
<b>0,96</b>	<b>Prod</b>	0,00	0,00	0,00	0,53	0,01	0,03	0,05	0,00	0,11	0,15	0,01	0,36
<b>0,50</b>	<b>0,56</b>	<b>MMG</b>	0,01	0,03	0,00	0,21	0,53	0,45	0,03	0,70	0,79	0,00	0,60
<b>0,93</b>	<b>0,97</b>	<b>0,42</b>	<b>Pexp</b>	0,00	0,38	0,00	0,03	0,06	0,00	0,08	0,11	0,07	0,16
<b>0,63</b>	<b>0,66</b>	<b>0,36</b>	<b>0,61</b>	<b>Pf</b>	0,29	0,05	0,23	0,50	0,11	0,05	0,71	0,53	0,41
-0,08	-0,11	<b>-0,56</b>	0,15	-0,18	<b>Pg</b>	0,39	0,96	0,75	0,87	0,43	0,60	0,01	0,40
<b>0,46</b>	<b>0,45</b>	0,21	<b>0,49</b>	<b>0,34</b>	0,15	<b>PsA</b>	0,55	0,27	0,00	0,92	0,35	0,84	0,64
<b>0,30</b>	<b>0,36</b>	0,11	<b>0,36</b>	0,21	0,01	0,10	<b>PremA</b>	0,02	0,04	0,14	0,08	0,98	0,28
<b>0,28</b>	<b>0,33</b>	0,13	<b>0,31</b>	0,12	-0,06	-0,19	<b>0,39</b>	<b>COSA</b>	0,10	0,30	0,00	0,44	0,54
<b>0,54</b>	<b>0,56</b>	<b>0,36</b>	<b>0,56</b>	0,27	-0,03	<b>0,55</b>	<b>0,34</b>	<b>0,28</b>	<b>PsB</b>	0,10	0,04	0,08	0,42
0,19	0,27	0,07	<b>0,30</b>	<b>0,33</b>	0,14	-0,02	0,25	0,18	<b>0,28</b>	<b>PremB</b>	0,00	0,58	0,62
0,16	0,25	0,05	0,27	0,06	0,09	-0,16	<b>0,29</b>	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>	<b>0,50</b>	<b>COSB</b>	0,03	0,42
<b>0,39</b>	<b>0,46</b>	<b>0,56</b>	<b>0,32</b>	-0,11	<b>-0,46</b>	-0,04	-0,01	0,14	<b>0,32</b>	0,10	<b>0,38</b>	<b>IEA</b>	0,03
0,23	0,17	0,10	0,25	-0,15	0,15	-0,09	-0,20	-0,11	0,15	0,09	0,15	<b>0,39</b>	<b>IEP</b>

Cor azul indica índice alto de correlação, a cor verde indica índice médio de correlação e a cor vermelha indica índice de correlação baixa (Shimakura, 2006).