

## FÓSFORO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FLUIDOS MINERAL E ORGANOMINERAL

**DIRCEU MAXIMINO FERNANDES<sup>1</sup>; MARCO ANDRÉ GROHSKOPF<sup>2</sup>; EDILSON RAMOS GOMES<sup>3</sup>; NATÁLIA RODRIGUES FERREIRA<sup>2</sup> E LEONARDO TEODORO BÜLL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/FCA) - Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP: 18160-307 - Botucatu, SP, bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq. E-mail: [dmfernandes@fca.unesp.br](mailto:dmfernandes@fca.unesp.br); [bull@fca.unesp.br](mailto:bull@fca.unesp.br).

<sup>2</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura) – UNESP/FCA, bolsista CAPES. E-mail: [marcogrohskopf@gmail.com](mailto:marcogrohskopf@gmail.com); [nataliarofer@gmail.com](mailto:nataliarofer@gmail.com).

<sup>3</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – UNESP/FCA, bolsista CNPq. E-mail: [edilsonvej@hotmail.com](mailto:edilsonvej@hotmail.com).

### 1 RESUMO

Pouco se conhece sobre a dinâmica da solução do solo em resposta a aplicação de diferentes fertilizantes no solo, principalmente, em relação à adubação fosfatada. Nesse sentido, avaliou-se o teor de fósforo, pH e condutividade elétrica na solução do solo e, a produção de biomassa de parte aérea de plantas em resposta a aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral a base de dejetos suínos e, mineral sólido. Os tratamentos foram: testemunha geral caracterizada pela ausência de nutrientes, testemunha de fósforo (P) caracterizada pela ausência apenas de P, fertilizantes fluido mineral (MF-P) e organomineral (OF-P) e, sólido (MS-P) aplicados em Latossolo Vermelho distroférrico (LV) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ). O experimento foi conduzido em vasos em casa de vegetação em delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições. A solução do solo foi captada através de extratores de solução instalados nos vasos, realizando-se dez coletas no período de 137 dias após a aplicação dos fertilizantes, abrangendo dois cultivos consecutivos de aveia preta (cultivo I e cultivo II). Em ambos os solos o rendimento de matéria seca no cultivo I foi maior no OF-P e no cultivo II semelhante no MS-P, MF-P e OF-P, sendo os maiores rendimentos demonstrados no LV em relação ao NQ. Os teores de P na solução do solo variaram ao longo do tempo apenas no OF-P no LV, enquanto que no NQ houve variação em todos os tratamentos, sendo em ambos os solos os maiores teores a partir do cultivo II. Para os valores de pH e condutividade elétrica (CE) também houve variação ao longo do tempo em ambos os solos, sendo que no pH os valores aumentaram e na CE os valores diminuíram no cultivo II em relação ao cultivo I em todos os tratamentos.

**Palavras-chave:** adubo líquido e sólido, resíduo, esterco.

**FERNANDES, D. M.; GROHSKOPF, M. A.; GOMES, E. R.; FERREIRA, N. R.; BÜLL, L. T.**

**PHOSPHORUS IN SOIL SOLUTION IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF MINERAL AND ORGANOMINERAL FLUID FERTILIZERS**

## 2 ABSTRACT

Little is known about the dynamics of soil solution in response to the application of different soil fertilizers, mainly in relation to phosphorus fertilization. Using this approach, the study evaluated phosphorus content, pH and electrical conductivity in soil solution as well as shoot biomass production in response to mineral and organomineral fluid fertilizers containing swine manure and solid mineral. Treatments were as follows: a control treatment consisting of absence of nutrients, phosphorus (P) control characterized by absence only of P, mineral (MF-P) and organomineral (OF-P) fluid fertilizers, and solid mineral fertilizer (SM-P) applied to Oxisol (LVd) and Typic Quartzipsamments (TQ) soils. The experiment was carried out using pots in a greenhouse with a randomized block experimental design and four replicates. Soil solution was collected by solution extractors installed in pots. Ten collections were performed over 137 days after fertilizer application, which included two crops in a row of black oat (cultivation I and cultivation II). In both soils, yield of dry matter in cultivation I was higher in OF-P, and it was similar in (SM-P), (MF-P) and (OF-P) in cultivation II. Higher yield was obtained in LVd in relation to TQ. Phosphorus content in soil solution ranged over time just in OF-P in LVd, whereas variation was observed in all treatments in TQ. In both soils, higher content was observed as of cultivation II. Also, variation over time was observed for pH and electrical conductivity (EC) values in both soils. Values of pH increased and values of EC decreased in cultivation II as compared with those in cultivation I in all treatments.

**Keywords:** liquid and solid fertilizer, residue, manure.

## 3 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos poucos países com reais possibilidades de contribuir grandemente para suprir a demanda pelo aumento da produção de alimentos. Pois, possui tecnologias sustentáveis de produção para atingir incrementos de produtividade em muitas culturas por meio da intensificação do uso do espaço agrícola. Por outro lado, boa parte do sucesso da produção agrícola brasileira, se deve ao uso de corretivos e fertilizantes.

Assim, o desenvolvimento de bases tecnológicas para a produção de novos insumos para a correção e adubação é estratégico para o agronegócio do País. O uso de fontes de fertilizantes utilizando matérias-primas disponíveis e que apresentem alta eficiência pode representar uma grande contribuição ao setor. Entre os diferenciais nacionais que podem contribuir com soluções a este problema está a disponibilidade mineral, que é grande quanto ao número de rochas e argilas, a diversidade de microrganismos, e a disponibilidade de resíduos animais, urbanos e industriais com potencial de fornecimento de nutrientes.

Dentre os tipos de fertilizantes pouca atenção tem se dado aos fertilizantes fluidos, principalmente, com relação aos organominerais a base de resíduos líquidos gerados na cadeia produtiva brasileira. Um dos principais resíduos gerados pelo setor agropecuário é o dejetos líquido de suínos (DLS) devido à importância econômica e social desta atividade.

A demanda no aproveitamento dos resíduos gerados pela criação de suínos será cada vez maior, fazendo com que a pesquisa nacional busque gerar recursos tecnológicos que equalizem a relação entre produção e qualidade ambiental. Sua utilização como matéria prima na adubação de culturas pode resultar em vários benefícios, possibilitando melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (CASSOL et al., 2012).

O uso de fertilizantes fluidos, principalmente, organomineral como fonte alternativa para o suprimento de fósforo para as culturas no Brasil ainda é pequeno. No entanto, são promissoras as perspectivas do seu uso, tendo em vista as vantagens que oferecem em relação aos fertilizantes aplicados na forma sólida, como: custo de produção, facilidade de armazenamento e aplicação, maior uniformidade de aplicação, minimização de perdas, versatilidade de formulações, menor consumo de mão-de-obra, redução do custo da adubação, rendimento operacional e o baixo risco de poluição ambiental durante o processo de produção (REHM; LAMB, 2009; WINKER et al., 2009).

Os fertilizantes na forma fluida fosfatada podem ter eficiência agrônômica igual ou superior aos fertilizantes tradicionais sólidos (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009; CHIEN; PROCHNOW; SNYDER, 2011) e a formulação de um produto organomineral fluido em base de DLS, possibilita o reaproveitamento dos nutrientes e da água residual gerada na suinocultura. Assim, a transformação do DLS em fertilizante organomineral pode possibilitar a sua comercialização como fórmulas pré-estabelecidas e adaptadas às diferentes demandas de culturas e solos.

Na solução do solo o fósforo (P) se apresenta, principalmente, como íons ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), formas dependentes do pH da solução. A mobilidade do P no solo é pequena e as perdas em solos agricultáveis são consideradas insignificantes (HEATHWAITE; SHARPLEY; GBUREK, 2000; GATIBONI et al., 2008). A concentração de P na solução do solo é dependente das reações de adsorção específica e de precipitação e, a importância de cada uma delas na disponibilidade de P, além de variar com o pH é também fortemente influenciada pela mineralogia do solo e do tipo fosfato aplicado como fertilizante (ERNANI; BAYER; MAESTRI, 2002; ERNANI; BAYER; RIBEIRO, 2004). A condutividade elétrica (CE) da solução do solo é uma medida simples e rápida e, uma das principais variáveis para se avaliar os sais no sistema solo-planta, sendo um método tido como referência para a avaliação da CE na solução extraída por meio de extratores com capsulas porosas (SOUZA et al., 2013).

O conhecimento da dinâmica dos nutrientes na solução do solo é de extrema importância, não só para fins econômicos como também para a prevenção da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, bem como auxiliar no manejo correto da adubação com fertilizantes. A extração da solução do solo por extratores pode ser realizada ao longo do tempo e no mesmo espaço amostral, além de ser rápida e não necessitar de coleta de amostra de solo (MARQUES et al., 2007). Entretanto, devido à complexidade e dificuldade do processo, a baixa concentração e quantificação dos nutrientes, faz com que esta análise não seja utilizada como um critério técnico para a recomendação de adubação, restringindo-se a poucos trabalhos de pesquisa para estes métodos (SCHLOTTER et al., 2012).

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o teor de fósforo, pH e condutividade elétrica na solução do solo e, a produção de biomassa de parte aérea de plantas em resposta a aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral a base de dejetos suíno e, sólido em Latossolo Vermelho distroférico e Neossolo Quartzarênico Órtico típico num ensaio de vasos em casa de vegetação.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus de Botucatu, em Latossolo Vermelho distroférico (LV) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ) de acordo com o Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), no período de 31 de maio a 07 de outubro de 2014.

Os solos foram coletados em Botucatu, SP, em áreas naturais com vegetação herbácea e sem uso agrícola, recolhendo-se a camada de 0 a 20 cm de profundidade de atributos químicos e físicos na camada de 0 a 20 cm apresentados na Tabela 1. Os solos foram peneirados em malha 4 mm, retirando-se raízes, palhas e torrões. A acidez dos solos foi corrigida com mistura de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  em relação 2:1, visando elevar a saturação por bases à 70% conforme método descrito por Raij et al. (1996), permanecendo em incubação durante vinte dias sob lona plástica e com umidade sempre em torno de 80% da capacidade de campo durante toda a condução do experimento.

**Tabela 1.** Atributos da camada de 0 a 20 cm do Latossolo Vermelho Distroférico (LV) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ) utilizados no experimento. Botucatu, SP, 2014.

Solo	pH	V	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	$P_{\text{resina}}^{(1)}$	Argila	Areia	Silte	MOS	DS
	$\text{CaCl}_2$	%		-----	mmol <sub>c</sub>	$\text{dm}^{-3}$	-----		$\text{mg dm}^{-3}$	-----	$\text{g kg}^{-1}$	-----	$\text{g dm}^{-3}$	$\text{g cm}^{-3}$
LV	3,8	13	17	89	9,0	3,0	0,7	102	3,0	474	397	129	21,0	1,2
NQ	4,1	19	15	56	9,0	2,0	1,4	68	6,0	90	884	26	12,0	1,4

Legenda - MOS = Matéria Orgânica do Solo; DS= Densidade do Solo; V: Saturação por Bases; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível método da resina; K: potássio extraível.

O LV se caracteriza como oxidico com o predomínio de formas cristalinas dos óxidos de ferro (goethita e hematita), na fração argila predomina a caulinita, seguida de argilominerais do tipo 2:1 com polímeros de hidróxi-Al entre camadas, em proporções menores, ocorrem gibbsita e quartzo (CARVALHO; ESPÍNDOLA; PACCOLA, 1983). Já o NQ apresenta o predomínio de quartzo em maior proporção, sendo na fração argila o predomínio de caulinita.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial  $2 \times 4 + 2$ , com quatro repetições O ensaio de avaliação dos fertilizantes fosfatados compreendeu os tratamentos testemunha caracterizada pela ausência de nutrientes, testemunha de fósforo (P) caracterizada pela ausência apenas de P, fertilizantes fluido mineral (MF-P) e organomineral (OF-P) e, sólido (MS-P).

Nos fertilizantes fosfatados o fósforo (P) foi aplicado na dose de  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  e os demais nutrientes foram aplicados em doses para fornecer alta disponibilidade no solo, aplicando-se o princípio “todos menos um” (GOEDERT; SOUZA; REIN, 1986). Para isso foram aplicadas as doses de 150, 100, 23, 1,3, 0,9, e  $1,1 \text{ mg kg}^{-1}$  de nitrogênio, potássio, enxofre, cobre, zinco e boro, em ambos os solos, empregando-se  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , KCl,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  e Bórax, respectivamente, aplicados na forma de solução.

As fontes minerais de P utilizadas foram Mono-Amônio-Fosfato solúvel ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) para a formulação dos fertilizantes fluidos e Superfosfato triplo para o fertilizante aplicado na forma sólida em grânulo. O Mono-Amônio-Fosfato solúvel foi diluído diretamente no dejetado líquido de suínos (DLS) no preparo do fertilizante organomineral e em água destilada no preparo do fertilizante mineral. No preparo do fertilizante organomineral fluido foi considerado o teor de nutrientes presentes no DLS, fazendo-se o balanceamento dos nutrientes para que apresentasse a mesma quantidade de nutrientes aplicados nos demais fertilizantes. O DLS foi recolhido em esterqueira de uma criação de suínos de ciclo completo, localizada em Botucatu, SP e apresentou teores totais de matéria orgânica (MO), N, P e K iguais a 51, 4,8,

1,33 e 1,66 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente, determinados segundo metodologia de Tedesco et al. (1995).

As unidades experimentais (UE) foram vasos de polietileno de 12 litros contendo 10,0 kg de solo seco, equilibrados de acordo com a densidade do solo de cada um (Tabela 1). Os fertilizantes empregados na forma fluida e sólida foram incorporados em sulcos de 4 cm de profundidade no centro de cada vaso, simulando-se a aplicação localizada em linha e afastada em, aproximadamente 4 cm das sementes.

Foi realizado dois cultivos sequenciais de aveia preta (*Avena Strigosa* S.), sendo o primeiro cultivo (cultivo I) no período de outono-inverno e o segundo cultivo (cultivo II) no período de inverno-primavera.

Os dois cultivos de aveia foram realizados com 8 plantas por vaso, mantidas sob irrigação intermitente com base no método de pesagem direta seguindo a metodologia de Klar et al. (1966) e Bernardo (1987), onde, os vasos foram pesados em uma balança de precisão de 1g a cada dois dias e verificou-se o teor de água no solo. Posteriormente correlacionou-se com a curva de tensão de água do solo, após isso verificou-se quanto de água a ser aplicada e realizou-se a reposição de água no solo visando manter a umidade próximo a 80% da capacidade de campo.

Em cada cultivo, determinou-se a produção de biomassa seca da parte aérea das plantas em períodos de 55 dias de crescimento após a germinação, mediante corte realizado rente à superfície do solo. O material colhido foi seco em estufa com circulação forçada do ar, a 60°C por 72 horas, determinando-se a massa em balança digital

A extração de solução do solo foi realizada com extratores de cápsulas porosas e corpo em PVC, seringa de 10 mL que permitiu extrair a solução aquosa do solo. Os extratores foram instalados a uma profundidade de 0,15 m da superfície na parte central do vaso a uma distância de 0,05 m da planta, segundo metodologia de Gomes (2013).

A aplicação do vácuo ocorreu 2 horas após a irrigação, onde foi aplicado uma pressão de 70 kPa por meio de uma bomba de vácuo seguindo a metodologia descrita por Dias et al. (2005) e Gomes (2013). Após 24 h da aplicação do vácuo, foi coletado a solução do solo e armazenado em tubos falcon e guardado em freezer, posteriormente determinou-se condutividade elétrica (CE) por meio do condutivímetro, pH via peagâmetro e o P realizado conforme metodologia descrita em Standard Methods for the examination of water and wastewater (RICE et al., 2012)

No primeiro cultivo foram realizadas 6 coletas da solução do solo, sendo que a primeira ocorreu 5 dias após a aplicação dos fertilizantes, antes da germinação das sementes, para caracterizar a concentração dos fertilizantes na solução do solo antes da extração pelas plantas. As demais coletas ocorreram aos 4, 11, 19, 26 e 34 dias após emergência das plantas (DAE) e no segundo cultivo as coletas da solução ocorreram aos 12, 26, 42 e 54 (DAE).

Os resultados foram submetidos à análise da homogeneidade da variância e da normalidade e, quando necessário foram transformados. Após, os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando delineamento de blocos ao acaso em delineamento fatorial, com avaliação do efeito dos tratamentos e comparação de médias pelo teste t de Student (P<0,05). As análises foram realizadas com auxílio do programa SAS (SAS INSTITUTE, 2007).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de massa seca (MS) de aveia preta, no primeiro cultivo (cultivo I) em função da presença ou ausência de fertilização fosfatada variou de 1,4 a 51,2 g/vaso, enquanto no segundo cultivo (cultivo II) variou de 2,2 a 17,8 g/vaso (Tabela 2). Em ambos os solos, a fertilização fosfatada aumentou a MS de aveia preta, tanto com fertilizante mineral sólido (MS-P), quanto com fertilizantes na forma fluida mineral (MF-P) e organomineral (OF-P), sempre maiores em relação a testemunha e Sem-P. No primeiro cultivo (cultivo I) o maior rendimento de MS no OF-P, enquanto no segundo cultivo (cultivo II) os fertilizantes MS-P, MF-P e OF-P não diferiram entre si em ambos os solos. Já na média dos dois cultivos os fertilizantes fluidos MF-P e OF-P demonstraram o maior rendimento de MS no Latossolo Vermelho (LV) e, não diferiram no Neossolo Quartzarênico (NQ).

**Tabela 2.** Rendimento de massa seca de plantas de aveia preta realizados em casa de vegetação em Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (NQ), sem adubação (Testemunha), sem adubação fosfatada (Sem-P), adubados com fertilizantes fluidos fosfatados mineral à base de água (MF-P) e organomineral à base de dejetos líquido de suíno (OF-P) e, mineral sólido (MS-P).

Solo	Fertilização fosfatada				
	Testemunha	Sem-P	MS-P	MF-P	OF-P
Massa seca (g/vaso)					
----- Cultivo I -----					
LV	1,4 Bd	1,5 Bd	39,2 Ac	48,0 Ab	51,2 Aa
RQ	4,6 Ac	3,2 Ac	28,9 Bb	26,7 Bb	31,0 Ba
----- Cultivo II -----					
LV	3,9 b	2,2 Bb	17,5 Aa	16,6 Aa	17,8 Aa
RQ	4,0 b	4,6 Ab	9,0 Ba	9,2 Ba	11,5 Ba
----- Média cultivos -----					
LV	2,6 Bc	1,8 Bc	28,4 Ab	32,3 Aa	34,5 Aa
RQ	4,3 Ab	3,9 Ab	19,0 Ba	18,0 Ba	21,2 Ba

Médias ligadas por letras distintas (minúsculas nas horizontais e maiúsculas na vertical) diferem pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

O rendimento com o uso dos fertilizantes foi maior no LV do que no NQ, evidenciando que esse último provavelmente apresentou algum fator restritivo ao crescimento das plantas. O que pode ser explicado pela diferença no teor de MOS maior no LV com  $21,0 \text{ g dm}^{-3}$  e  $1,2 \text{ g dm}^{-3}$  no NQ (Tabela 1). A MOS tem papel essencial na dinâmica dos processos químicos, físicos e biológicos do solo, os quais determinam o seu potencial produtivo (MAFRA et al., 2014). Já nos tratamentos com a ausência da aplicação de P, testemunha e Sem-P os maiores rendimentos foram demonstrados no NQ, onde a pouca contribuição do P pela mineralização sofre menor adsorção pela fase mineral do solo em relação ao LV, liberando maior quantidade de P disponível às plantas.

Os teores de P na solução do solo variaram de 0,17 a  $1,16 \text{ mg L}^{-1}$  em Latossolo Vermelho (LV) e de 0,04 a  $1,00 \text{ mg L}^{-1}$  em Neossolo Quartzarênico (NQ) (Tabela 3). Em LV não houve variação no teor de P na solução do solo ao longo do tempo nos dois cultivos nos tratamentos Testemunha, Sem-P e MS-P, sendo diferente apenas nos tratamentos com fertilizantes MF-P e OF-P. Ou seja, os maiores teores na solução foram demonstrados com a aplicação de fertilizantes na forma fluida. No fertilizante mineral fluido (MF-P) o maior teor

de P foi aos cinco dias após a aplicação dos fertilizantes (DAAF) e com as plantas ainda emergidas, ou seja, zero dias após a emergência das plantas (DAE) no cultivo I. Já no fertilizante organomineral fluido (OF-P), tratamento que mostrou os maiores teores de P na solução em relação aos demais tratamentos, o maior teor foi aos cinco DAAF e zero DAE.

**Tabela 3.** Teor de P ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na solução do solo em diferentes dias após a aplicação dos fertilizantes (DAAF), dias após a emergência das plantas (DAE) em dois cultivos sequenciais de aveia preta (I e II) em Latossolo Vermelho e em Neossolo Quartzarênico, sem adubação fosfatada (Sem-P), adubados com fertilizantes fluidos fosfatados mineral à base de água (MF-P) e organomineral à base de dejetos líquido de suíno (OF-P) e, mineral sólido (MS-P).

DAAF	DAE	Cultivo	Tratamento				
			Testemunha	Sem-P	MS-P	MF-P	OF-P
----- <b>Latossolo Vermelho</b> -----							
5	0	I	0,24 c	0,27 c	0,26 c	0,57 Ab	1,16 Aa
11	4	I	0,28 b	0,23 b	0,28 b	0,28 Bb	0,78 Ba
18	11	I	0,32	0,26	0,36	0,29 B	0,39 C
26	19	I	0,26 b	0,24 b	0,38 b	0,36 Bb	0,48 BCa
32	26	I	0,28	0,19	0,24	0,36 B	0,28 C
40	34	I	0,30 b	0,17 b	0,34 b	0,33 Bb	0,48 BCa
95	12	II	0,22 b	0,23 b	0,37 b	0,34 Bb	0,81 Ba
109	26	II	0,22 b	0,21 b	0,36 b	0,33 Bb	0,75 Ba
125	42	II	0,24 b	0,22 b	0,23 b	0,39 Ba	0,23 Cb
137	54	II	0,33	0,33	0,34	0,33 B	0,32 C
----- <b>Neossolo Quartzarênico</b> -----							
5	0	I	0.04 B	0.07 B	0.09 E	0.06 D	0.08 D
11	4	I	0.06 Bb	0.06 Bb	0.19 Eab	0.36 Ca	0.05 Db
18	11	I	0.06 Bb	0.06 Bb	0.40 Ca	0.19 Db	0.06 Db
26	19	I	0.05 Bb	0.05 Bb	0.40 Ca	0.09 Db	0.06 Db
32	26	I	0.05 Bb	0.05 Bb	0.48 Ca	0.06 Db	0.05 Db
40	34	I	0.05 Bb	0.05 Bb	0.50 Ca	0.06 Db	0.07 Db
95	12	II	0.46 Ac	0.50 Ac	0.78 Ab	1.00 Aa	1.00 Aa
109	26	II	0.34 Ac	0.42 Ac	0.66 Bb	0.88 Aa	0.89 Aa
125	42	II	0.38 Ab	0.32 Ab	0.63 Ba	0.46 Bab	0.54 Ba
137	54	II	0.31 A	0.33 A	0.36 D	0.33 C	0.33 C

Médias ligadas por letras distintas (minúsculas nas horizontais e maiúsculas na vertical) diferem pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

No fertilizante OF-P pode-se observar que houve uma tendência de depleção nos teores de P no cultivo I em relação à primeira coleta nos 5 DAAF até 40 DAAF, pelo efeito tanto de absorção da planta no seu crescimento/desenvolvimento quanto da adsorção do P nos sítios da fase mineral do solo ao longo do tempo no LV (Tabela 3). Entretanto, no fertilizante OF-P nos 95 DAAF e 12 DAE no cultivo II, observa-se um aumento no teor de P na solução do solo, provavelmente pela contribuição da MOS proveniente das raízes do primeiro cultivo e do próprio fertilizante. Vale ressaltar, que no OF-P se obteve o maior rendimento de matéria seca (MS) no primeiro cultivo.

Dentre os fertilizantes aplicados no LV o OF-P demonstrou os maiores teores de P na solução do solo (Tabela 3). A matéria orgânica (MO) presente no dejetos líquido de suíno

(DLS) pode ter contribuído para reduzir a fixação de P nos sesquióxidos de ferro e alumínio deste solo, uma vez que a MO compete com o P nestes sítios de adsorção, reduzindo sua fixação, contribuindo para o aumento dos teores de P na solução do solo e, conseqüentemente, o melhor aproveitamento para as plantas. A ocorrência da competição entre ânions orgânicos e o fosfato nos sítios de adsorção dos sesquióxidos de ferro e alumínio já é reconhecida (ERNANI, 2008, GATIBONI et al., 2008).

A disponibilidade de P para as plantas cultivadas em solos ácidos e de argila de atividade baixa depende em grande parte do grau com que os íons fosfato formem complexos solúveis ou seja fortemente adsorvido pelas superfícies minerais (VALLADARE; PEREIRA; ANJOS, 2003). Em solos onde predominam caulinita e formas cristalinas de óxidos de Fe e Al, o processo de adsorção diminui a quantidade de P disponível, devido à alta energia de ligação entre o ânion fosfato e os grupos funcionais de superfície mineral (KÄMPF; SCHWERTMANN, 1983; GATIBONI et al., 2005; SHUAI; ZINATI, 2009).

No solo NQ em ambas as coletas os maiores teores de P na solução do solo foram demonstrados no cultivo II, aos 95 DAAF e aos 12 DAE das plantas para todos os tratamentos, com um efeito de depleção dos teores de P até 137 DAAF e 54 DAE (Tabela 3). No cultivo II pode-se observar os maiores teores de P no início nos fertilizantes MF-P e OF-P, seguido do MS-P que obteve os maiores teores de P na solução durante o cultivo I observados a partir dos 11 DAAF e 4 DAE.

Estes maiores valores para o teor de P na solução no cultivo II pode estar relacionado a contribuição das raízes do primeiro cultivo com os maiores rendimentos de matéria seca (MS) no OF-P, seguido do MF-P e MS-P semelhantes entre si. Este fator pode ter contribuído para o aumento nos teores de P na solução do solo no cultivo II em relação ao I, efeito este, mais evidente em NQ em comparação ao LV, em virtude da menor adsorção imposta pela fase mineral aos ânions presentes na solução do solo, uma vez que no NQ, prevalece em maior proporção o quartzo na fração areia e em menores proporções a caulinita na fração argila.

Os valores de pH na solução do solo em Latossolo Vermelho (LV) variaram de 6,2 a 8,0 e de condutividade elétrica (CE) de 0,14 a 7,14 mS cm<sup>-1</sup> (Tabela 4). Pode-se observar uma grande variação nestes dois parâmetros na solução ao longo do tempo nos dois cultivos de aveia preta (I e II) em todos os tratamentos com exceção da testemunha, tanto para pH quanto para CE.

**Tabela 4.** Valores de pH e condutividade elétrica (CE) na solução do solo em diferentes dias após a aplicação dos fertilizantes (DAAF), dias após a emergência das plantas (DAE) em dois cultivos sequenciais de aveia preta (I e II) em Latossolo Vermelho (LV), sem adubação fosfatada (Sem-P), adubados com fertilizantes fluidos fosfatados mineral à base de água (MF-P) e organomineral à base de dejetos líquido de suíno (OF-P) e, mineral sólido (MS-P).

DAAF	DAE	Cultivo	Tratamento				
			Testemunha	Sem-P	MS-P	MF-P	OF-P
<b>pH</b>							
5	0	I	7,4	7,7 B	7,4 A	7,5 A	7,4 AB
11	4	I	7,7	7,3 B	7,2 AB	7,3 AB	6,9 B
18	11	I	7,4	7,1 b	7,0 AB	6,8 B	6,7 B
26	19	I	7,8 a	7,1 Bb	6,9 Bb	6,6 Bb	6,7 Bb
32	26	I	7,8 a	7,0 Bb	6,6 Bb	6,3 Bb	6,6 Bb
40	34	I	7,8 a	6,8 Bbc	6,9 Ab	6,5 Bbc	6,2 Bc
95	12	II	7,6	7,2 B	7,7 A	7,8 A	7,6 B
109	26	II	7,6	7,3 B	7,9 A	8,0 A	7,7 B
125	42	II	7,4	7,9 A	7,9 A	7,9 A	7,9 A
137	54	II	7,3	7,2 B	7,2 AB	7,2 AB	7,3 AB
<b>CE</b>							
5	0	I	1,26	1,75 B	1,71 B	2,36 B	2,49 AB
11	4	I	1,90	3,71 AB	3,56 AB	4,33 AB	3,32 AB
18	11	I	2,48 b	3,66 ABab	5,10 Aab	6,43 Aa	4,76 Aab
26	19	I	2,37 b	6,43 Aa	5,56 abA	6,56 Aa	4,92 Aab
32	26	I	2,76 b	6,41 Aa	5,72 Aab	7,14 Aa	5,72 Aab
40	34	I	2,12 b	5,20 Aab	3,87 ABab	4,00 ABab	5,96 Aa
95	12	II	0,73	0,56 B	0,58 B	0,58 B	0,53 B
109	26	II	0,74	0,56 B	0,58 B	0,56 B	0,54 B
125	42	II	0,39	0,38 B	0,42 B	0,30 B	0,14 B
137	54	II	0,39	0,48 B	0,58 B	0,47 B	0,44 B

Médias ligadas por letras distintas (minúsculas nas horizontais e maiúsculas na vertical) diferem pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Pode-se observar que os maiores valores de pH foi demonstrado nos períodos de coleta do cultivo I de aveia preta, no tratamento testemunha (Tabela 4). Enquanto que nos demais tratamentos Sem-P, MS-P, MF-P e OF-P houve uma diminuição do pH até os 40 DAAF e 34 DAE no cultivo I. Por se tratar do primeiro cultivo após a aplicação dos fertilizantes, as plantas de aveia tiveram um ambiente mais propício ao seu crescimento/desenvolvimento em virtude da maior disponibilidade de nutrientes, onde a maior absorção de nutrientes pela planta acarreta na acidificação da solução do solo pela liberação de íons  $H^+$  pela planta a fim de manter o equilíbrio eletroquímico quando ocorre à absorção de um cátion da solução, o que se explica pela maior concentração eletrolítica na solução do solo no cultivo I nesses tratamentos.

Já no cultivo II de aveia preta pode-se observar um aumento nos valores de pH da solução do solo a partir dos 95 DAAF e 12 DAE nos tratamentos em relação ao cultivo I (Tabela 4). Neste cultivo houve um esgotamento dos nutrientes em virtude do cultivo I, o que pode ser explicado pela maior produção de MS em relação ao cultivo II onde prevalece o efeito residual (Tabela 2). Com o menor crescimento/desenvolvimento das plantas de aveia no

cultivo II, menos íons  $H^+$  estão sendo liberados na solução do solo pela planta em virtude da menor absorção de nutrientes, diminuindo a acidificação do meio. Somado a este fato, pode-se atribuir a contribuição do efeito residual do calcário aplicado no solo. Este efeito de diminuição dos nutrientes na solução do solo pela absorção da planta pode ser explicado pela redução dos valores de CE ao longo do tempo, sendo os menores valores demonstrados no cultivo II.

No Neossolo Quartzarênico distrófico (NQ) os valores de pH na solução do solo variaram de 6,6 a 8,1 e de 0,11 a 5,75  $mS\ cm^{-1}$  (Tabela 5). Da mesma forma que o demonstrado no LV, pode-se observar uma grande variação nos valores destes parâmetros ao longo do tempo abrangendo os dois cultivos de aveia preta (I e II), em todos os tratamentos tanto para pH quanto para CE.

**Tabela 5.** Valores de pH e condutividade elétrica (CE) na solução do solo em diferentes dias após a aplicação dos fertilizantes (DAAF), dias após a emergência das plantas (DAE) em dois cultivos sequenciais de aveia preta (I e II) em Neossolo Quartzarênico, sem adubação fosfatada (Sem-P), adubados com fertilizantes líquidos fosfatados mineral à base de água (MF-P) e organomineral à base de dejetos líquido de suíno (OF-P) e, mineral sólido fosfatado (MS-P).

DAAF	DAE	Cultivo	Tratamento				
			Testemunha	Sem-P	MS-P	MF-P	OF-P
<b>pH</b>							
5	0	I	7,4	7,6 AB	7,6 ABC	7,6 AB	7,6 AB
11	4	I	7,6	7,3 BC	7,3 BCD	7,2 BCD	7,2 B
18	11	I	7,3	7,1 BCD	7,3 BCD	7,0 CDE	7,0 B
26	19	I	7,2	6,9 C	7,1 CD	6,8 DE	7,0 B
32	26	I	7,4 a	6,6 Db	6,8 Db	6,6 Eb	6,9 Bb
40	34	I	7,4 a	6,7 Db	6,7 Db	6,8 Db	6,9 Bb
95	12	II	7,7 ab	7,3 BCb	7,8 ABab	7,9 ABa	7,6 ABab
109	26	II	7,7 ab	7,4 ABb	7,9 Aab	8,1 Aa	7,8 Aab
125	42	II	8,1	8,1 A	8,1 A	8,0 A	8,0 A
137	54	II	7,0	7,3 BC	7,3 BCD	7,4 B	7,3 B
<b>CE (<math>mS\ cm^{-1}</math>)</b>							
5	0	I	1,10 AB	2,66 B	1,44 C	1,70 C	2,56 C
11	4	I	1,56 ABc	3,79 Bab	2,52 BCbc	4,90 Aa	3,20 Cb
18	11	I	2,30 ABb	4,98 Aa	3,99 Ba	3,36 Ba	4,00 Ba
26	19	I	2,44 ABb	5,32 Aa	5,22 Aa	4,89 Aa	3,86 Ba
32	26	I	2,48 Ab	5,55 Aa	4,89 Aa	5,47 Aa	4,10 Ba
40	34	I	1,80 ABb	4,72 Aa	4,06 Ba	2,05 Cb	5,75 Aa
95	12	II	0,45 B	0,50 C	0,51 D	0,48 D	0,64 D
109	26	II	0,44 B	0,50 C	0,50 D	0,47 D	0,63 D
125	42	II	0,24 B	0,22 C	0,27 D	0,16 D	0,11 D
137	54	II	0,31 B	0,28 C	0,29 D	0,40 D	0,32 D

Médias ligadas por letras distintas (minúsculas nas horizontais e maiúsculas na vertical) diferem pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Os maiores valores de pH no primeiro cultivo no NQ foi demonstrado aos 32 DAAF e 34 DAE em relação aos demais tratamentos (Tabela 5) com diminuição nos valores de pH. Da mesma forma como explicado no LV, isto se deve a absorção dos nutrientes presentes na

solução do solo pela planta, que em função do processo de manutenção do equilíbrio eletroquímico da planta acidifica a solução do solo, com exceção apenas do tratamento testemunha. Este processo de acidificação se torna mais significativo em condições de vaso, onde o ambiente é limitado. Este efeito de maior absorção no cultivo I pode ser verificado pela maior produção de MS neste cultivo I de aveia preta (Tabela 2).

No cultivo II no NQ observa-se aumento nos valores de pH da solução do solo a partir dos 95 DAAF e 12 DAE em relação ao cultivo I (Tabela 5). Isto se deve ao esgotamento dos nutrientes em virtude da maior absorção das plantas no cultivo I, prevalecendo o efeito residual no cultivo II. Este efeito pode ser observado pela diminuição nos valores de CE da solução do solo a partir do cultivo II nos 95 DAAF e 12 DAE. Com a menor absorção de nutrientes pela planta, verificados pela menor produção de MS no cultivo II (Tabela 2), menos íons  $H^+$  são liberados pela planta na solução do solo diminuindo a sua acidificação, o que juntamente ao efeito residual do calcário elevam os valores de pH.

Em ambos os solos estudados (LV e NQ), em geral, houve um comportamento semelhante para o pH e CE da solução do solo. Demonstrando que estes parâmetros não sofrem influência na solução em virtude da fase mineral do solo, nas condições deste experimento. Diferentemente do P na solução, que sofre grande influência na sua dinâmica em função da fase mineral, principalmente, em LV nos sesquióxidos de ferro e alumínio presentes neste solo.

## 6 CONCLUSÕES

Tanto em Latossolo Vermelho quanto em Neossolo Quartzarênico o rendimento de matéria seca no primeiro cultivo foi maior no fertilizante organomineral fluido, sendo no segundo cultivo semelhante entre os três fertilizantes testados.

Os teores de fósforo na solução do solo variaram ao longo do tempo apenas no organomineral fluido no Latossolo Vermelho, enquanto que no Neossolo Quartzarênico houve variação em todos os tratamentos, sendo em ambos os solos os maiores teores a partir do segundo cultivo.

Nos valores de pH e condutividade elétrica houve variação ao longo do tempo em ambos os solos, sendo que no pH os valores aumentaram e na condutividade elétrica os valores diminuíram a partir do segundo cultivo em relação ao primeiro em todos os tratamentos.

## 7 REFERÊNCIAS

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 1987. 488 p.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, 1983. 95 p. (Boletim Científico, n. 1).

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1911-1923, 2012.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 102, p. 267-322, 2009.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrition Cycle Agroecosystem**, Dordrecht, v. 89, p. 229-255, 2011.

DIAS, N. da S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. M.; TALES, M.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 496-504, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. 1. ed. Lages, SC: UDESC, 2008. 230 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; MAESTRI, L. Corn yield affected by liming and tillage system on an acid Brazilian Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 305-309, 2002.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; RIBEIRO, M. F. S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 35, p. 889-901, 2004.

GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, A. F. C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M. A. S. Phosphorus forms and availability assessed by <sup>31</sup>P-NMR in successive cropped soil. **Communication Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v. 36, p. 2625-2640, 2005.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos de suíno em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; REIN, T. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. 23 p. (Documento, 22).

GOMES, E. R. **Eficiência no uso de água e de potássio no cultivo e na produção do morangueiro**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

HEATHWAITE, L. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 158-166, 2000.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p. 27-39, 1983.

KLAR, A. E.; VILLA NOVA, N. A.; MARCOS, Z. Z.; CERVELLINI, A. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 23, p. 15-30, 1966.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 8, p. 630-638, 2014.

MARQUES, J. D. de O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; FERREIRA, S. J. Variações do carbono orgânico dissolvido e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 563-570, 2007.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado do São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1996. 285 p.

REHM, G. W.; LAMB, J. A. Corn response to fluid fertilizers placed near the seed at planting. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.73, n. 4, p. 1427-1434, 2009.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012. part 4000, p.111-175.

SAS INSTITUTE. **SAS 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft**. Cary, NC, 2007.

SCHLOTTER, D.; SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND, E. E.; WILPERT, K. VON. Equivalence or complementarity of soil-solution extraction methods. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Madison, v. 175, p. 236-244, 2012.

SHUAI, X.; ZINATI, G. Proton charge and adsorption of humic acid and phosphate on goethite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 2013-2020, 2009.

SOUZA, E. R. de; MELO, H. F. de; ALMEIDA, B. G. de; MELO, D. V. M. de. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 510-517, 2013.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. A. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 212 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

WINKER, M.; VINNERAS, B.; MUSKOLUS, A.; ARNOLD, U.; CLEMENS, J. Fertilizer products from new sanitation systems: Their potential values and risks. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, p. 4090-4096, 2009.