



Fósforo na Solução do Solo em Resposta à Aplicação de Fertilizantes Fluidos Mineral e Organomineral⁽¹⁾.

Marco André Grohskopf⁽²⁾; Edílson Ramos⁽³⁾; Caio Vilela Cruz⁽²⁾; Katiuça Sueko Tanaka⁽²⁾; Letusa Momesso Marques⁽²⁾ e Dirceu Maximino Fernandes⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/FCA). ⁽²⁾ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura); 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 CAPES; E-mail: marcogrohskopf@gmail.com.br, caiovilelac@hotmail.com; sueko_tanaka@hotmail.com; letusamomesso@gmail.com. ⁽³⁾ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem); UNESP/FCA; bolsista CAPES; E-mail: edilsonvej@hotmail.com. ⁽⁴⁾ Professor da UNESP/FCA; departamento de Solos e Recursos Ambientais; E-mail: dmfernandes@fca.unesp.br.

RESUMO: Pouco se conhece sobre a dinâmica da solução do solo em resposta a aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o teor de fósforo na solução do solo em resposta a aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral a base de dejetos suíno 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 Distroférico (LV) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ). O experimento foi conduzido em vasos em casa de vegetação em delineamento experimental de blocos casualizados. A solução do solo foi captada através de extratores de solução instalados nos vasos, realizando-se dez coletas no período de 194 dias após a aplicação dos fertilizantes, abrangendo dois cultivos consecutivos de aveia preta (cultivo 1 e 2) e um de milho (cultivo 3). 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 2. Os maiores teores de P em LV e NQ na solução foram demonstrados com a aplicação de fertilizantes fluidos MF-P e OF-P em relação ao MS-P nos cultivos 2 e 3, o que permite inferir sobre a melhor eficiência e efeito residual das fontes fluidas em relação a sólida.

Termos de indexação adubo líquido e sólido, resíduo, esterco.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de bases tecnológicas para a produção de novos insumos para a adubação é estratégico para o agronegócio do País. O uso de fertilizantes utilizando matérias-primas disponíveis

no país e que apresentem alta eficiência pode representar uma grande contribuição ao setor.

O uso de fertilizantes fluidos como fonte de fósforo para as culturas no Brasil 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 e rendimento operacional (Winker et al., 2009).

O fertilizantes na forma fluida fosfatada podem ter eficiência agrônômica igual ou superior aos fertilizantes tradicionais sólidos e a formulação de um produto organomineral fluido em base de dejetos líquido de suíno (DLS), possibilita o reaproveitamento dos nutrientes e também da água residual gerada da suinocultura. O que pode possibilitar a sua comercialização como fórmulas pré-estabelecidas e, adaptadas às diferentes demandas de culturas e solos.

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 et al., 2004). Entretanto, pouco se conhece sobre sua dinâmica na solução do solo em resposta a aplicação de fertilizantes fosfatados na adubação das culturas.

O objetivo do trabalho foi avaliar o teor de fósforo na solução do solo 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.



MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, em Botucatu, no período de 31 de maio a 15 de dezembro de 2014. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Distroférico (LV) e um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ). Os solos foram coletados na camada de 0 a 20 cm em áreas naturais com vegetação herbácea, sem uso agrícola e isenta da aplicação de fertilizantes e corretivos. As características químicas e físicas do solo estão descritas na **tabela 1**, determinados conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).

Os solos foram peneirados em malha 4 mm, retirando-se raízes, palhas e torrões. A acidez dos solos foi corrigida com calcário dolomítico, visando elevar a saturação por bases à 70%, permanecendo em incubação durante vinte dias sob lona plástica e com umidade em torno de 80% da capacidade de campo de cada solo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial 2x4+2, com quatro repetições. Os tratamentos, foram: sem fósforo (Sem-P), mineral sólido (MS-P), mineral fluido (MF-P), organomineral fluido (OF-P). Para ambos os ensaios teve-se o tratamento testemunha geral (Test. Geral) em comum como referência, caracterizado pela ausência N e P no solo.

A dose de fósforo (P) nos fertilizantes aplicados foi de 80 mg kg⁻¹ de P e os demais nutrientes forma aplicados em doses para fornecer alta disponibilidade no solo. Para isso forma aplicadas as doses de 150, 100, 23, 1,3, 0,9, e 1,1 mg kg⁻¹ de nitrogênio, potássio, enxofre, cobre, zinco e boro, em ambos os solos, empregando-se NH₄NO₃, KCl, CuSO₄, ZnSO₄ e Bórax, respectivamente, aplicados na forma de solução.

As fontes minerais de P utilizadas foram Mono Fosfato Amônio solúvel (NH₄H₂PO₄) para a formulação dos fertilizantes fluidos e Superfosfato triplo para o fertilizante aplicado na forma sólida. O Mono Fosfato Amônio solúvel foi diluído diretamente no dejetto 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 apresente a mesma quantidade de nutrientes aplicados nos demais fertilizantes. O DLS foi recolhido em esterqueira de uma criação de suínos de ciclo completo e apresentou teores totais de matéria orgânica (MO), N, P e K iguais a 51, 4,8, 1,33 e 1,66 kg m⁻³, 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. 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.

Foram realizados três cultivos sequenciais, sendo o primeiro cultivo (cultivo I) no período de outono-inverno e o segundo cultivo (cultivo II) no período de inverno-primavera com aveia preta (*Avena Strigosa* S.) e, um terceiro cultivo (cultivo III) no período de primavera-verão com milho (*Penissetum glaucum* Leeke). Os cultivos de aveia e milho foram realizados com 8 plantas por vaso, mantidas sob irrigação intermitente.

A extração de solução do solo foi realizada com extratores de cápsulas porosas e corpo em PVC, seringa de 10 mL. 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. 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. 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 o teor de P 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 e terceiro cultivo as coletas da solução ocorreram aos 12, 26, 42 e 54 (DAE).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando delineamento de blocos ao acaso, com avaliação do efeito dos tratamentos e comparação de médias pelo teste t de Student (P<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P na solução do solo variaram de 0,17 a 2,11 mg L⁻¹ em Latossolo Vermelho (LV) e de 0,04 a 1,00 mgL⁻¹ em Neossolo Quartzarênico (NQ) (**Tabela 2**). Na condição de LV não houve variação no teor de P na solução do solo ao longo do tempo nos três cultivos realizados nos tratamentos Testemunha geral, Sem-P e MS-P, sendo diferente apenas nos tratamentos com



fertilizantes MF-P e OF-P, com exceção nos 166 dias após a aplicação dos fertilizantes (DAAF) nos tratamentos MS-P, MF-P e OF-P. Ou seja, os maiores teores na solução em geral foram demonstrados com a aplicação de fertilizantes na forma fluida.

No fertilizante mineral fluido (MF-P) o maior teor de P foi aos 166 e 194 DAAF, aos 26 e 54 dias após a emergência (DAE) das plantas, no cultivo 3 (**Tabela 2**). 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 5 DAAF e zero DAE no cultivo 1 e, aos 166 e 194 DAAF com 26 e 54 DAE no cultivo 3.

No fertilizante OF-P pode-se observar que houve uma tendência de depleção nos teores de P no cultivo 1 em relação a primeira coleta nos 5 DAAF até 40 DAAF, pelo efeito tanto de absorção da planta pelo seu crescimento/desenvolvimento quanto da adsorção do P aos sítios a fase mineral do solo ao longo do tempo no LV (**Tabela 2**). Entretanto, no fertilizante OF-P nos 95 DAAF e 12 DAE no cultivo 2 e, principalmente, no cultivo 3, observa-se um aumento no teor de P na solução do solo, provavelmente pela contribuição da mineralização da MO proveniente da biomassa das raízes dos cultivos anteriores e do próprio fertilizante.

Dentre os fertilizantes aplicados no LV o OF-P demonstrou os maiores teores de P na solução do solo (**Tabela 2**). 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 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 sejam fortemente adsorvidos pelas superfícies minerais. 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.

No solo NQ em ambas as coletas os maiores teores de P na solução do solo foram demonstrados no cultivo 2 e 3 (**Tabela 2**). Sendo os maiores teores no cultivo 2 aos 95 DAAF e 12 DAE das plantas para todos os tratamentos com fertilizantes, com um efeito de depleção dos teores de P até 137

DAAF e 54 DAE (**Tabela 2**). No cultivo 3 os maiores teores foram demonstrados aos 166 e 194 DAAF nos 12 e 54 DAE das plantas, respectivamente nos tratamentos MF-P e OF-P. Já no cultivo 1, com os menores teores de P na solução do solo em geral, apenas o OF-P apresentou os maiores, sendo aos 5 DAAF e zero DAE.

Semelhante ao LV, o aumento nos teores de P na solução do solo em NQ nos cultivos 2 e 3 (**Tabela 2**), pode estar relacionado a contribuição das raízes dos cultivos anteriores. Este fator pode ter contribuído para o aumento nos teores de P na solução do solo no cultivo 2 e 3. Efeito este, mais evidente no solo NQ em comparação ao LV, em virtude da menor adsorção imposta pela fase mineral aos íons presentes na solução do solo, uma vez que no solo NQ, prevalece em maior proporção o quartzo na fração areia e em menores proporções a caulinita na fração argila.

CONCLUSÕES

O teor de fósforo na solução do solo variou ao longo do tempo apenas no organomineral fluido no Latossolo Vermelho Distroférico (LV), enquanto que no Neossolo Quartzarênico distrófico (NQ) houve variação em todos os tratamentos, sendo em ambos os solos os maiores teores a partir do segundo cultivo.

A aplicação de fertilizantes fluidos na forma mineral e organomineral a base de dejetos líquido de suínos permite maior teor de fósforo na solução do solo em relação a fonte mineral sólida em LV e NQ.

REFERÊNCIAS

- 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. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 35:889-901, 2004.
- RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Washington, DC. 22 ed., part 4000, p.111-175, 2012.
- WINKER, M.; VINNERAS, B.; MUSKOLUS, A.; ARNOLD, U. & CLEMENS, J. Fertilizer products from new sanitation systems: Their potential values and risks. *Biores. Technol.*, 100:4090-4096, 2009.
- 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).



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

Solo	pH	V	Al	H+Al	Ca	Mg	K	CTC	P _{resina} ⁽¹⁾	Argila	Areia	Silte	MOS	DS
	CaCl ₂	%			mmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³		g kg ⁻¹		g dm ⁻³	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
RQ	4,1	19	15	56	9,0	2,0	1,4	68	6,0	90	884	26	12,0	1,0

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.

Tabela 2. Teor de P (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 (cultivo 1 e 2) e um de milho (cultivo 3) em Latossolo Vermelho Distroférico e em Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ), sem adubação fosfatada (Sem-P), adubados com fertilizantes fluidos fosfatados mineral à base de água (MF-P) e organomineral à base de dejetos líquidos de suíno (OF-P) e, mineral sólido fosfatado (MS-P).

DAAF	DAE	Cultivo	Tratamento				
			Testemunha geral	Sem-P	MS-P	MF-P	OF-P
----- Latossolo Vermelho Distroférico -----							
5	0	1	0,24 Bc	0,27 Bc	0,26 Bc	0,57 Bb	1,16 Aa
11	4	1	0,28 Bb	0,23 Bb	0,28 Bb	0,28 Cb	0,78 Ba
18	11	1	0,32 B	0,26 B	0,36 B	0,29 C	0,39 C
26	19	1	0,26 Bb	0,24 Bb	0,38 Bb	0,36 Cb	0,48 BCa
32	26	1	0,28 B	0,19 B	0,24 B	0,36 C	0,28 C
40	34	1	0,30 Bb	0,17 Bb	0,34 Bb	0,33 Cb	0,48 BCa
95	12	2	0,22 Bb	0,23 Bb	0,37 Bb	0,34 Cb	0,81 Ba
109	26	2	0,22 Bb	0,21 Bb	0,36 Bb	0,33 Cb	0,75 Ba
125	42	2	0,24 Bb	0,22 Bb	0,23 Bb	0,39 Ca	0,23 Cb
137	54	2	0,33 B	0,33 B	0,34 B	0,33 C	0,32 C
152	12	3	0,20 B	0,22 B	0,24 B	0,30 C	0,35 C
166	26	3	0,83 Ab	0,82 Ab	1,88 Aa	2,11 Aa	1,60 Aa
182	42	3	0,70 Aa	0,20 Bb	0,20 Bb	0,30 Cb	0,37 Cb
194	54	3	0,75 Ab	0,70 Ab	0,81 Ab	0,91 Ab	1,20 Aa
----- Neossolo Quartzarênico distrófico -----							
5	0	1	0,04 D	0,07 C	0,09 E	0,06 D	0,08 D
11	4	1	0,06 Db	0,06 Cb	0,19 Eab	0,36 Ca	0,05 Db
18	11	1	0,06 Db	0,06 Cb	0,40 Ca	0,19 Db	0,06 Db
26	19	1	0,05 Db	0,05 Cb	0,40 Ca	0,09 Db	0,06 Db
32	26	1	0,05 Db	0,05 Cb	0,48 Ca	0,06 Db	0,05 Db
40	34	1	0,05 Db	0,05 Cb	0,50 Ca	0,06 Db	0,07 Db
95	12	2	0,46 Cc	0,50 Bc	0,78 Ab	1,00 Aa	1,00 Aa
109	26	2	0,34 Cc	0,42 Bc	0,66 Bb	0,88 Aa	0,89 Aa
125	42	2	0,38 Cb	0,32 Bb	0,63 Ba	0,46 Bab	0,54 Ba
137	54	2	0,31 C	0,33 B	0,36 D	0,33 C	0,33 C
152	12	3	0,60 BCa	0,23 Cc	0,34 Cc	0,51 Bbc	0,43 Bc
166	26	3	0,69 Bb	0,83 Aa	0,86 Aa	0,96 Aa	0,91 Aa
182	42	3	1,07 Aa	0,25 Bb	0,44 Cb	0,34 Cb	0,22 Cb
194	54	3	0,39 Cb	0,78 Aa	0,87 Aa	0,99 Aa	0,83 Aa

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