

AURANNA RAQUEL DA SILVA

**SOLUBILIDADE DE FONTES DE FÓSFORO POR FLUXO DIFUSIVO**

PATOS DE MINAS, MG

2018

AURANNA RAQUEL DA SILVA

**SOLUBILIDADE DE FONTES DE FÓSFORO POR FLUXO DIFUSIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do título de graduada em Agronomia pelo Centro Universitário de Patos de Minas, sob orientação do professor D.Sc., Carlos Henrique Eiterer de Souza.

PATOS DE MINAS, MG

2018

## SOLUBILIDADE DE FONTES DE FÓSFORO POR FLUXO DIFUSIVO

**Resumo:** Comumente solos tropicais apresentam baixa disponibilidade de fósforo, nutriente considerado essencial para enraizamento, desenvolvimento e produtividade de vegetais. Nos solos, o fósforo pode ser encontrado em diferentes formas, possuindo dinâmica diferenciada em relação aos demais nutrientes. O principal mecanismo de transporte do fósforo no solo é por meio da difusão, mecanismo no qual se dá a obtenção do nutriente pelas plantas. O objetivo do trabalho foi avaliar o fluxo difusivo de fósforo a partir da aplicação de diferentes fontes fosfatadas, avaliar a solubilidade e dinâmica de liberação de P em função do tempo de contato com o solo. O experimento foi conduzido no laboratório CEFERT do UNIPAM, em DIC, com arranjo fatorial 5x6, com parcelas subdivididas no tempo, correspondendo, respectivamente, a 5 fontes de fertilizantes fosfatados, 6 tempos de avaliação e 4 repetições. Os tratamentos foram: T<sub>1</sub>: MAP convencional (50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>2</sub>: MAP revestido (49% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>3</sub>: Organomineral Peletizado (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>4</sub>: Organomineral Farelado (25% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e T<sub>5</sub>: Termofosfato (17,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Foram coletadas amostras de solo no município de Patos de Minas, os fertilizantes foram incorporados no solo e foram dispostas as resinas nos vasos para avaliar o FDF. As extrações do P foram realizadas após 10,20,30,40,50 e 60 dias de incubação das resinas. Avaliando as fontes em relação ao tempo de contato, notou um aumento da disponibilidade de fósforo com o passar do tempo em todas as fontes utilizadas, aumentando o fluxo difusivo do nutriente, sendo os tratamentos T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>, com uso de organominerais, os que obtiveram maiores valores de fluxo difusivo. A partir de 40 dias de contato com o solo, a extração de P foi maior, mostrando a eficiência da liberação gradativa dos fertilizantes organominerais.

**Palavras-chaves:** Adsorção de P, difusão, fertilizantes fosfatados.

## SOLUBILITY OF PHOSPHORUS SOURCES BY DIFFUSIVE FLUX

**Abstract:** Commonly, tropical soils have low availability of phosphorus, nutrient considered essential for rooting, development and productivity of vegetables. In soils, phosphorus can be found in different forms, with different dynamics in relation to other nutrients. The main mechanism of transport of phosphorus in the soil is through diffusion, a mechanism in which the nutrient is obtained by plants. The objective of this work was to evaluate the diffusive flow of phosphorus from the application of different phosphate sources, to evaluate the solubility and dynamics of P release as a function of soil contact time. The experiment was conducted in the CEFERT laboratory of UNIPAM, in DIC, with factorial arrangement 5x6, with plots subdivided in time, corresponding, respectively, to 5 sources of phosphate fertilizers, 6 evaluation times and 4 replications. The treatments were: T<sub>1</sub>: conventional MAP (50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>2</sub>: coated MAP (49% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>3</sub>: Organomineral Pelletized (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>4</sub>: Organomineral Flour (25% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and T<sub>5</sub>: Thermophosphate (17.5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Soil samples were collected in the municipality of Patos de Minas, fertilizers were incorporated in the soil and the resins were placed in the pots to evaluate the FDF. The extractions of P were performed after 10,20,30,40,50 and 60 days of incubation of the resins. Evaluating the sources in relation to the time of contact, noticed an increase in the availability of phosphorus with the passage of time in all the sources used, increasing the diffusive flow of the nutrient, being the treatments T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub>, with use of organominerals, that obtained higher diffusive flux values. From 40 days of contact with the soil, the extraction of P was higher, showing the efficiency of the gradual release of the organomineral fertilizers.

**Key-words:** Adsorption of P, diffusion, phosphate fertilizers.

## INTRODUÇÃO

O fósforo está entre os elementos minerais considerados essenciais às plantas, participando de inúmeros processos metabólicos importantes para o desenvolvimento de todo ciclo, e sendo componente de células, como ácidos nucleicos, e moléculas de energia, como a ATP (EPSTEIN; BLOOM, 2006; VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003). É apontado dentre os principais problemas limitantes para produção agrícola em solos tropicais e subtropicais a baixa disponibilidade desse nutriente (NOVAIS et al., 2007). Esse fato se relaciona à forma que o fósforo encontra-se disponível para as plantas na solução do solo. O fósforo possui uma parte na solução e outra na fase sólida do solo, a fração lábil.

A disponibilidade de nutrientes para as plantas sofre influências da umidade, do teor e mineralogia da fração de argila (BAHIA FILHO et al., 1983), e é dependente da forma que se movimenta até as raízes. Para avaliar quantitativamente a absorção de fósforo, é preciso conhecer e analisar os mecanismos ligados ao fornecimento do nutriente ao sistema radicular.

Sabe-se que nos solos tropicais se encontram quantidades abundantes de óxidos de ferro e de alumínio, o que limita a disponibilidade do fósforo aplicado via fertilizante. Aliado a esses argumentos, pode-se explicar a baixa capacidade de aproveitamento de fertilizantes fosfatados, na qual de 20 a 35% do que é aplicado, consegue ser assimilado pelas plantas. Boa parte do fósforo presente nos solos tropicais é encontrado em formas não-lábeis, portanto, indisponível para a planta (BARBER, 1995).

As formas que o fósforo pode ser absorvido pelas plantas se dá através da interceptação radicular, fluxo de massa ou por difusão. Para que a absorção ocorra, o nutriente precisa estar na forma iônica na solução do solo, diretamente em contato com o sistema radicular da planta (BARBER, 1995). A difusão é o mecanismo mais importante e expressivo de transporte de fósforo no solo (NOVAIS & SMYTH, 1999), no qual forma-se gradiente de concentração onde ocorre a difusão do local de maior concentração para o de menor concentração, sendo esse mecanismo responsável por até 90% do nutriente assimilado pelas plantas. Para estimar a difusão de fósforo nos solos, o fluxo difusivo vem sendo um grande aliado a esse estudo, isto é, a associação entre concentração e quantidade absorvida pelas plantas (AZEVEDO et al., 2004). Esse processo é influenciado por inúmeros fatores, como a interação fósforo-colóide no solo, o teor do nutriente, a distância a se percorrer até as raízes, a temperatura do solo, os argilominerais presentes e o volume de água no solo (COSTA et al., 2006; BASTOS et al. 2008).

O fluxo difusivo de fósforo no solo pode ser determinado através de resinas troca iônica (AMER et al., 1995) e de papel-filtro impregnado com óxidos de ferro e de alumínio

(VAN DER ZEE et al., 1987). A extração por resina de troca aniônica (RTA) é um dos métodos empregados para extração de elementos químicos do solo. Silva & Raij (1999) acreditam que a utilização da RTA (Resinas de troca aniônica) como extrator desse elemento é apropriado para estimar o fator quantidade, sendo superior a outros extratores pelo fato do método de extração se assemelhar à ação das raízes das plantas.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o fluxo difusivo de fósforo a partir da aplicação de fertilizantes fosfatados, avaliar a solubilidade e dinâmica de liberação do fósforo ao longo do tempo de contato com o solo.

## METODOLOGIA

### Instalação do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório CEFERT (Central de Análises de Fertilidade do Solo), localizado no Campus do Centro Universitário de Patos Minas em Minas Gerais (UNIPAM). O período experimental foi de janeiro a março de 2018. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho Distrófico coletadas no município de Patos de Minas – MG.

### Caracterização do Solo

Após coletada a amostra, a mesma foi seca ao ar, homogeneizada e peneirada, com intuito de obter uma terra fina e sem torrões (Figura 1). Posteriormente foi realizada análise química (Tabela 1), e textural classificando-o como franco-argiloso (39,21% de areia, 7,96% de silte, 52,83% de argila).

Tabela 1: Análise química do solo utilizado em experimento de fluxo difusivo de P com incubação de fertilizantes fosfatados por 60 dias. Patos de Minas, MG (2018).

pH	M.O	P-Rem	P-Mel	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t	T	V	m
H <sub>2</sub> O	dag kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----						-----%-----		
5,54	0,25	1,65	0,10	13,10	0,60	1,20	0,02	1,40	1,83	1,85	3,23	56,70	1,08

Metodologia proposta pela EMBRAPA (2009).

P, K = [Mehlich-1, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>],

S-SO<sub>4</sub><sup>2+</sup> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>];

Ca, Mg, Al = [KCl 1 mol L<sup>-1</sup>]; H + Al = [Solução Tampão – SMP a pH 7,5];

M.O = Método Titulométrico.

Figura 1: Exposição do solo ao ar para secagem, na estufa do UNIPAM.



Fonte: Próprio autor.

### **Delineamento**

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) em fatorial 5 x 6 com parcelas subdivididas no tempo, correspondendo, respectivamente, a 5 fontes de fertilizantes fosfatados, 6 tempos de incubação de P, em 4 repetições (Figura 2). Os tratamentos foram: T<sub>1</sub>: MAP convencional (50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>2</sub>: MAP revestido (49% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>3</sub>: Organomineral Peletizado (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>4</sub>: Organomineral Farelado (25% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>5</sub>: Termofosfato (17,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O intervalo de tempo para as determinações com extração de P foram de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de incubação com as resinas. Em todos os tratamentos foram aplicados 150 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Os fertilizantes foram incorporados ao solo, e posteriormente distribuídos em vasos de 5 dm<sup>3</sup>. As unidades experimentais foram mantidas na casa de vegetação durante o experimento, sendo submetidos à irrigação intercaladamente na mesma proporção em todos os tratamentos.

Figura 2: Implantação do experimento em delineamento experimental DIC.



Fonte: Próprio autor.

### **Avaliação do fluxo difusivo de fósforo**

Para avaliação em função do tempo, foram colocadas em cada vaso 12 resinas, sendo 2 resinas para cada tempo (Figura 3). Essas, sendo dispostas verticalmente nos vasos (Figura 4). De acordo com as datas estabelecidas, as avaliações foram realizadas.

O processo de extração do P pela resina ocorre com uma transferência do elemento para a resina, na qual o fosfato é adsorvido:  $P \text{ lábil} \longleftrightarrow (H_2PO_4^-) \text{ solução}$ .

Figura 3: Resinas dispostas no vaso, duas resinas para cada tempo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4: Resinas sendo dispostas verticalmente no vaso.



Fonte: Próprio autor.

O estudo foi conduzido por 60 dias após implantação das resinas. De acordo com as datas estabelecidas, as avaliações foram realizadas da seguinte forma: para ser feita a extração de fósforo, as lâminas de resina foram retiradas do solo, lavadas com água destilada corrente para retirada de partículas de solo aderido e o excesso de água retirado com papel toalha e colocadas em erlemeyer de 125 mL. O fósforo adsorvido por essas resinas foi extraído através da adição de 50 mL de solução extratora de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  e  $\text{HCl}$  e levadas logo após ao agitador a 150 rpm durante 1 hora (Figura 5). Foi tomada uma alíquota de 5 mL da solução e adicionada 5 mL de solução reagente de trabalho (RT), permanecendo a solução em repouso por 30 minutos (Figura 6) e feita a leitura em seguida em espectrofotômetro em absorvância de 660 nm para quantificar a estimativa de difusão do fósforo (Figura 7), de acordo com Raij et al. (1987).

Figura 5: Erlemeyer com resinas e solução extratora levados ao agitador por 1 hora.



Fonte: Próprio autor.



Figura 6: Solução em repouso com reagente de trabalho para posterior quantificação de fósforo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7: Leitura e quantificação de fósforo pelo espectrofotômetro.



Fonte: Próprio autor.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância e as épocas de coleta ajustados modelos de regressão referentes à taxa de solubilização da fonte, ambos utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a taxa de solubilização em decorrência do tempo de cada fonte separadamente, notou-se o aumento da disponibilidade de fósforo com o passar do tempo em todas as fontes que foram utilizadas (Tabela 2). De modo geral, ocorreu interação significativa entre as fontes utilizadas em relação ao tempo de avaliação. Esse comportamento pode ser explicado pelo acréscimo do tempo de contato do fertilizante com o solo, ocorrendo assim maior liberação de fósforo no fluxo difusivo.

A escolha da utilização dos fertilizantes mencionados para elaboração desse experimento surgiu do fato de a matéria prima para fabricação das duas fontes de fertilizantes organominerais ser o fosfato monoamônico (MAP), intencionando assim, avaliar o comportamento dessa fonte convencional, polimerizada e protegida por componentes orgânicos.

Tabela 2: Valores médios de fósforo extraído em mg/cm<sup>2</sup> por fluxo difusivo por meio de resinas de troca iônica com uso de diferentes fontes de fósforo em decorrência do tempo. UNIPAM, Patos de Minas, MG (2018).

Dias	MAP	MAP	Organomineral	Organomineral	Mineral	média
	convencional	revestido	peletizado	farelado	Yorin	
	mg cm <sup>-2</sup> de P					
<b>10</b>	0,04 A	0,06 A	0,05 A	0,07 A	0,07 A	0,06
<b>20</b>	0,22 A	0,19 A	0,35 A	0,39 A	0,36 A	0,30
<b>30</b>	0,29 A	0,34 A	0,90 A	0,81 A	0,57 A	0,58
<b>40</b>	0,41 A	0,56 A	1,85 A	2,04 A	0,74 A	1,12
<b>50</b>	0,57 A	0,82 A	5,34 A	3,67 A	1,07 A	2,29
<b>60</b>	0,82 B	1,09 B	23,10 A	17,40 A	2,18 B	8,92
<b>média</b>	0,39 B	0,51 B	5,27 A	4,06 A	0,83 B	

<sup>1</sup>Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey p<0,05.

O efeito do tempo de contato do fertilizante fosfatado com o solo na adsorção do fósforo depende da solubilidade/reatividade do fertilizante e dos atributos do solo, se este apresenta menor ou maior capacidade de adsorção. De acordo com Gonçalves et al., (1985), quando adicionados ao solo, os fertilizantes fosfatados solúveis liberam por volta de 90% de seus nutrientes nos primeiros instantes, ocorrendo já no início do contato, a adsorção de fósforo formando a P-não lábil, que não faz parte do fluxo difusivo desse nutriente. Reddy et al., (2005) também defende a teoria de que a adsorção acontece em seguida da adição do fósforo ao solo, o que explica o fato de não ocorrer liberação imediata desse nutriente.

O tipo de fertilizante fosfatado empregado afeta a adsorção de P (SOUZA et al., 2004). Fertilizantes de maior solubilidade (superfosfatos simples e triplo, fosfato monoamônico

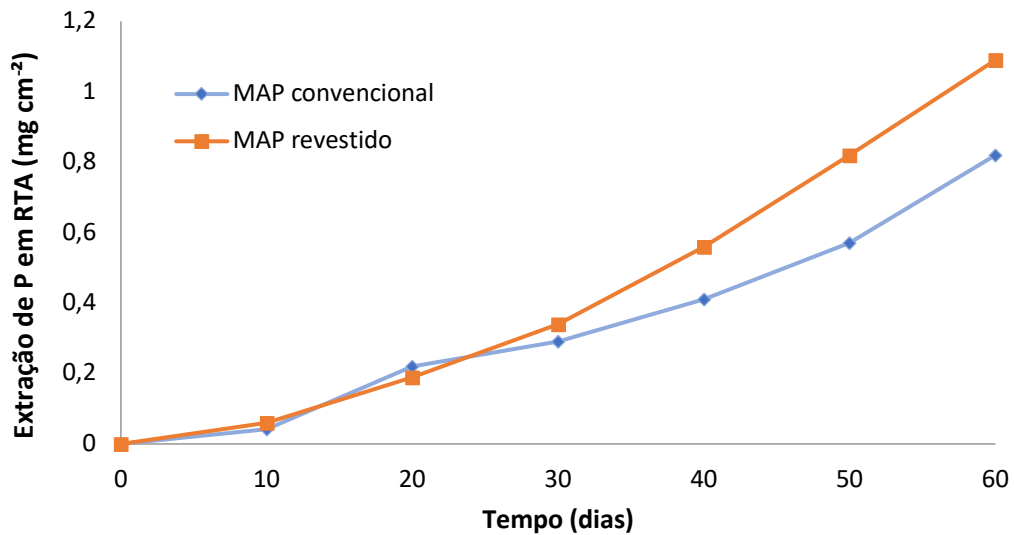
e diamônico) apresentam velocidade de liberação de P superior para a solução do solo quando comparadas aos fosfatos de menor solubilidade. Porém, a eficiência dos fertilizantes fosfatados mais solúveis é minimizada à medida que o tempo de contato do P com os colóides do solo aumenta, limitando sua disponibilidade para as plantas (LANA et al., 2004; COSTA et al., 2008). Analisando o fluxo difusivo em solos de textura argiloso, Kroth (1998) constatou que a extração através do uso de resinas foi maior ao passo que o tempo de extração foi aumentando, notando uma provável interação positiva entre o tempo de extração e o teor de P do solo. Resultados contrários foram encontrados por Yang et al. (1991), que ao analisarem a extração de P pelo método de resina, observaram que o aumento de fluxo difusivo ocorreu até 6 dias após serem instaladas no solo, não tendo aumento considerável após esse tempo.

Quando comparados MAP convencional com MAP revestido observou-se que até 20 dias de contato com o solo o fluxo difusivo foi semelhante, e após 30 dias de incubação o MAP revestido apresentou fluxo difusivo de fósforo superior à fonte convencional, porém não apresentaram diferença estatística (Figura 8). Tal resultado pode indicar velocidade menor de dissolução do fertilizante protegido em relação ao fertilizante sem revestimento.

Silva et al. (2012) constataram que fertilizantes polimerizados diminuíam a adsorção de P, disponibilizando o P gradualmente. Luz e Korndörfer (2011) também afirmaram que fertilizantes de liberação lenta inicialmente liberam seus nutrientes em menor quantidade, liberando de forma gradual ao longo do tempo.

Os fertilizantes convencionais são solúveis em água, e para aumentar a sua eficiência agrônômica os grânulos são recobertos por camadas de material insolúvel em água, restringindo o acesso da água ao grânulo, fazendo com que ocorra uma solubilização mais lenta dos fertilizantes, e a liberação gradual dos nutrientes (BORSARI, 2013), propiciando maior aproveitamento do nutriente liberado. Esse revestimento propicia proteção física da fonte de fósforo, diminuindo a ação de alguns fatores químicos, como a dissolução da fonte, que poderia elevar a força da adsorção de P (LANA et al., 2010).

Figura 8: Fluxo difusivo de fósforo, em decorrência do tempo, com utilização das fontes MAP convencional e revestido.



Machado e Souza (2012) em experimento com avaliação de disponibilidade de P ao longo do tempo, com aplicação de MAP com e sem revestimento, concluíram que o fertilizante polimerizado ampliou a liberação de fósforo ao decorrer do tempo, acarretando na liberação gradativa do nutriente. Essa eficiência de P superior que temos na forma polimerizada se deve à composição dos grânulos, que ao assimilarem água do solo dissolvem o fósforo no interior das cápsulas, ocorrendo sua liberação gradualmente por meio da estrutura porosa no sistema radicular. Dessa forma, o contato contínuo do P com colóides do solo é reduzido, diminuindo as perdas por adsorção (TOMASZEWSKA et al., 2002; GUARESCHI et al., 2011). Sendo disponibilizados de forma lenta, o fósforo vai gerar valores constantes de fluxo difusivo ao passar do tempo, permitindo melhor sincronia da mobilidade de P no solo e da absorção pela planta.

Entretanto, alguns autores encontraram resultados contrários (VALDERAMA et al., 2011). Gazola et al. (2013) ao avaliarem a eficiência de fontes fosfatadas com e sem revestimento na cultura do milho, não notaram diferenças significativas entre as fontes utilizadas. Os autores deduziram que não ocorreu liberação gradativa de P por ter ocorrido uma degradação acelerada dos polímeros de revestimento.

Quando analisados a extração de fósforo da fonte termofosfato Yorin, em relação ao MAP convencional e revestido, notou-se que o termofosfato se destacou, com maior fluxo difusivo de fósforo a partir de 10 dias após incubação das resinas (Figura 9). Os termofosfatos são fertilizantes que apresentam uma insolubilidade em água, liberando seus nutrientes de forma gradual, aumentando assim a sua eficiência agrônômica. Devido apresentarem essa

tecnologia de liberação mais lenta, esses nutrientes são melhor aproveitados e as perdas são menores.

Silva & Raij (1999) encontraram maior teor médio de fósforo quando utilizaram a resina como forma de extrator. O aproveitamento vantajoso do P do termofosfato, segundo alguns autores, pode ter relação com a existência de Mg e Si, e com o poder neutralizante da acidez (GOEDERT et al., 1986; TISDALE et al., 1993; MALAVOLTA, 2003).

Figura 9: Fluxo difusivo de fósforo, em decorrência do tempo, com utilização de fontes fosfatadas.

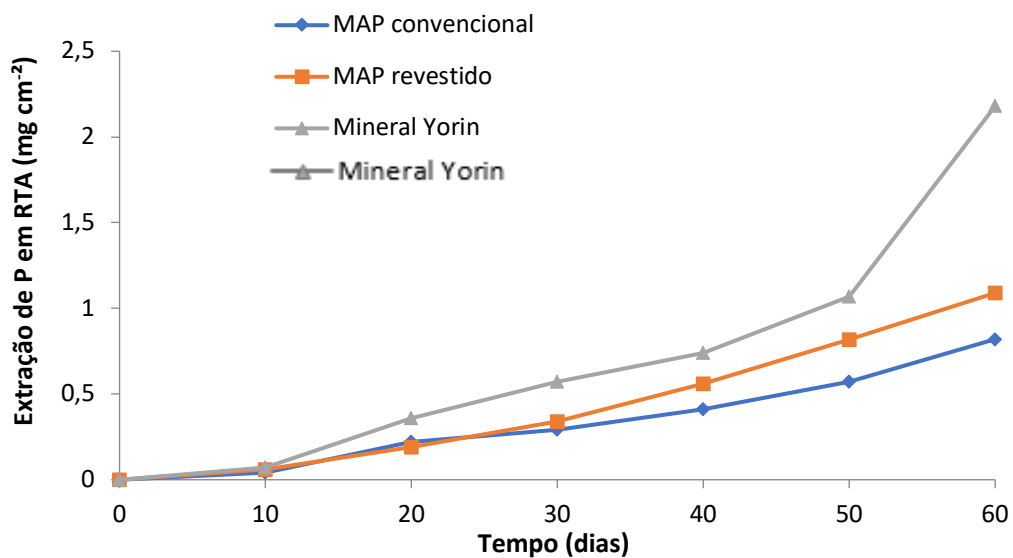
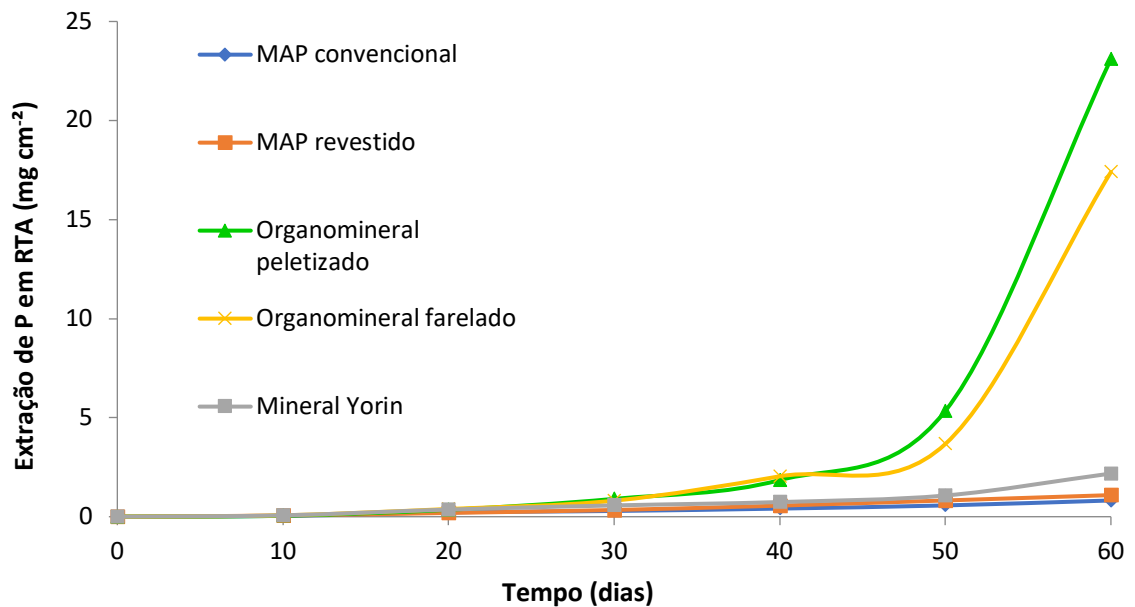


Figura 10: Fluxo difusivo de fósforo, em decorrência do tempo, com utilização de fontes fosfatadas.



Avaliando as análises do fluxo difusivo de fósforo em fontes de fertilizante fosfatado, foi expressada interação significativa para as fontes empregadas, em relação ao tempo de avaliação. No decorrer do tempo de avaliação, todos os tratamentos tiveram uma elevação do fluxo difusivo de fósforo. Ao analisarmos todas as fontes, verificamos que os tratamentos que foram utilizados fertilizante organomineral tiveram uma extração mais elevada, ou seja, o fluxo difusivo foi superior aos demais tratamentos, aumentando a cada tempo de avaliação (Figura 10). Os organominerais possuem o P protegido por componentes orgânicos, o que proporciona a liberação lenta do nutriente ao longo do tempo, inicialmente em menor disponibilidade, aumentando a liberação com o passar do tempo (LUZ e KORNDÖRFER, 2011), resultado que corrobora com o encontrado nesse experimento descrito.

Em comparação com o fertilizante mineral convencional, o fertilizante organomineral expressa um potencial químico reativo expressivamente menor, entretanto ele disponibiliza seus nutrientes de forma mais lenta sucessivamente durante o crescimento da cultura, sendo considerado de maior eficácia em relação aos fertilizantes minerais solúveis (KIEHL, 2008). A matéria orgânica, diferencial dos fertilizantes organominerais, repleta de substâncias húmicas, tem a particularidade de tornar mais cargas negativas disponíveis na faixa de liberação de fosfato desses fertilizantes, tendo potencial de disponibilizar melhor o fósforo para as raízes das plantas (KIEHL, 2008). A ampliação da solubilidade de fósforo quando acompanhado pela matéria orgânica, pode ser explicado pela formação de complexos fosfoúmicos, que são mais incorporados pelas plantas; troca aniônica do fosfato pelo íon humato (TISDALE & NELSON, 1993).

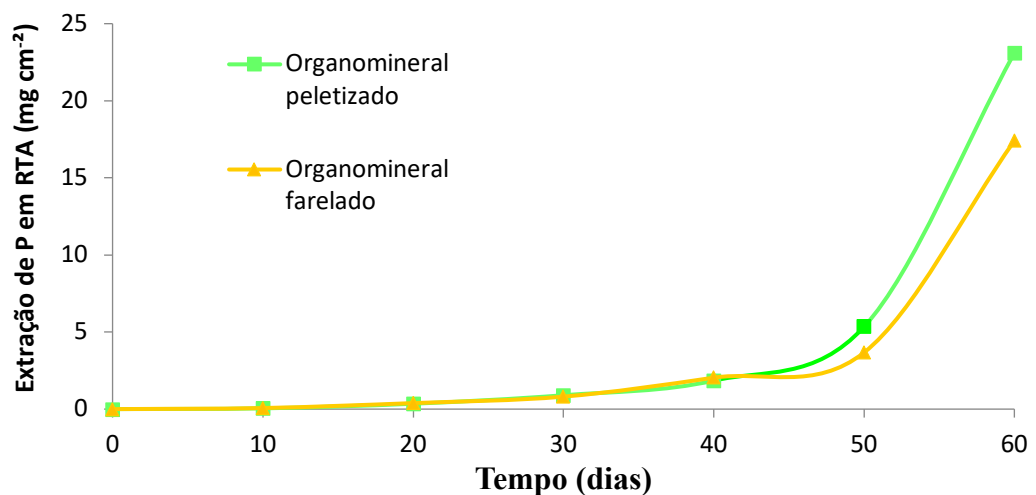
Na literatura encontramos alguns trabalhos onde se avaliou a disponibilidade de fósforo. Em decorrência de discussões que vem sendo feita sobre o efeito da matéria orgânica na adsorção de P, pesquisas realizadas relatam que a presença dessa matéria orgânica pode atuar aumentando ou diminuindo a capacidade de adsorção de fósforo pelo solo. Aquino (2004) e Silva et al. (1997) relacionam alguns fatores que possam estar ligados à diminuição de adsorção de fósforo. Fatores esses relacionados ao modo de ação do ácido carbônico na dissolução de minerais que contenham P; a construção de ligações com o húmus, estabelecendo a absorção do fósforo pelas plantas; expansão da competitividade de ânions orgânicos e o fosfato pelos sítios de adsorção de fósforo.

Brady (1989) afirmaram que produtos decorrentes da matéria orgânica decomposta, como ácidos orgânicos e húmicos, dispõem de uma predisposição em estruturar complexos com óxidos de ferro e alumínio, não permitindo sua disponibilidade para a fixação de fósforo. Andrade et al. (2001), analisaram a implicação de restos orgânicos na adsorção de fósforo,

comprovaram que a incorporação de matéria orgânica no solo reduz a fixação de fósforo. Wild (1950) citou que, quando inserido no solo, o fósforo teria uma porção agregada a matéria orgânica, por meio de cátions metálicos, tais como Fe e Al. Sanyal & De Datta (1991) acreditam que o P pode ser adsorvido através de pontes que são criadas por intermédio da característica aniônica da matéria orgânica, que resultam na formação dessas pontes de cátions com o Al, Fe e Ca.

Com relação aos tratamentos com organomineral, foi afirmado por Iyamuremye et al., (1996), que por meio da incorporação de materiais orgânicos nos solos, a adsorção de fósforo é reduzida, pelo fato do material orgânico em decomposição propiciar a liberação de OH-, que concorre com os íons fosfatos pelos sítios e adsorção. Fato que foi constatado também por Tirloni *et al.* (2009), que confirmam que o aumento da matéria orgânica no solo promove a criação de complexos que minimizam a fixação de P. A junção do fertilizante mineral com o material orgânico evita que o P mantenha contato direto com a fase sólida do solo (óxidos de Fe e Al e argilas silicatadas), reduzindo assim as perdas por adsorção (SOUZA, 2014). Esses fertilizantes ampliam a disponibilidade de fósforo (PARENT et al., 2003), graças às vantagens que a matéria orgânica oferece, podendo diminuir a transformação do fósforo para formas menos lábeis para as plantas (KHIARI E PARENT, 2005). O fato do fertilizante organomineral peletizado apresentar fluxo difusivo superior ao organomineral farelado (Figura 11), pode ser explicado pelo fato de que na fonte peletizada a fase mineral situa-se protegida no interior de uma matriz orgânica porosa, que são os pellets, prevenindo que aconteça um contato diretamente do fósforo com os óxidos de Fe e Al no solo, evitando assim, as perdas desse nutriente por adsorção (SOUSA, 2014).

Figura 11: Fluxo difusivo de fósforo, em decorrência do tempo, com utilização de fontes fosfatadas organominerais.



## CONCLUSÕES

A aplicação de fósforo propiciou aumento do fluxo difusivo ao longo dos 60 dias de avaliação.

Os fertilizantes organominerais apresentaram maior fluxo difusivo de fósforo final, com baixa liberação até os 20 dias de avaliação e elevada taxa até os 60 dias de avaliação. Apresentando, assim, taxa de liberação gradual.

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos ao meu orientador Carlos Henrique por todo apoio e suporte e toda a equipe do laboratório CEFERT e ao UNIPAM pela ajuda durante toda a experimentação, e por disponibilizar todos os equipamentos e materiais que foram necessários para a relação desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- AMER, F.; BOULDING, D.R.; BLACK, C.A. & DUKE, F.R. **Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and  $P_{32}$  equilibration.** Plant Soil, 6:391-408,1955.
- ANDRADE, A. T.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, N. V. **Relação da aplicação de resíduos orgânicos, calcário e gesso com a adsorção de fósforo em solos de várzea.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, 2001, Paraná.
- AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. **Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 28:995-1004, 2004.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. RIBEIRO, A.C. **Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 7:221-226, 1983.
- BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach.** 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.
- BORSARI F. **Fertilizantes inteligentes: As novas tecnologias permitem o consumo dos nutrientes pelas plantas de forma gradativa, lenta e controlada.** Agro DBO. 2013; 54-7.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.



- COSTA, J.P.V; BARROS, N.F; ALBUQUERQUE, A. W; FILHO, G.M E SANTOS, J.R. **Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.4, p. 828-835, 2006.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** 2. ed. Londrina: Ed. Planta, 2006. 85 p.
- FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas.** Lavras: UFLA, 2000. 66 p.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. **Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros.** *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.643-648, 2011.
- GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J., ed. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo.** São Paulo, Nobel, 1986. p.129- 166.
- GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F.; RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, n.2, p.107-111, 1985.Reddy et al., (2005)
- IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. & BAHAN, J. **Organic amendments and phosphorus dynamics: II. Distribution of soil phosphorus fractions.** *Soil Sci.*, 161:436-443, 1996.
- KHIARI L, PARENT LE. **Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure.** *Can J Soil Sci.* 2005;85:75-87.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais.** 2.ed. Piracicaba, Degaspari, 2008. 160p.
- KROTH, P.L. **Disponibilidade de fósforo no solo para as plantas e fatores que afetam a extração por resina de troca em lâminas.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. p.67. (Tese de Mestrado)
- LANA RMQ, JUNIOR, ACS, SILVA AA, LANA AMQ. **Teores de fósforo remanescente após aplicação de doses crescentes de MAP revestido com polímero de liberação gradual.** In: Anais da Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água; 2010; Teresina. Teresina: Embrapa meio-norte, 2010.
- MALAVOLTA, E. **Fósforo na planta e interação com outros elementos.** In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003. Anais. Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 85p. CD-ROM
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999, 399p.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. **Fertilidade do solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

SANYAL, S.K.; De DATTA, S.K. **Chemistry of phosphorus transformations in soil**. Advances in Soil Science, New York, v.16, p.1-120, 1991.

SILVA, F.C. & RAIJ, B.van. **Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores**. Pesq. Agropec. Bras., 34:267-288, 1999

SOUSA RTX. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar** [tese]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2014.

TISDALE, S.; NELSON, W.L; BEATON, J.D. & HAVLIN, J.H. **Soil fertility and fertilizers**. New York, Macmillan Publishing Company, 1993. 634p.

TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D.S. **Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo**. Ciência e Agrotecnologia, v.33, p.977-984, 2009.

TISDALE, S.; NELSON, W.L; BEATON, J.D. & HAVLIN, J.H. **Soil fertility and fertilizers**. New York, Macmillan Publishing Company, 1993. 634p.

TOMASZEWSKA, M.; JARPSOEWICZ, A.; KARAKKULSKI, K. **Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation**. Desalination, v.146, p.319-323, 2002.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Cambridge, v. 157, 2003.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; FOKKINK, L. G. J.; van RIEMSDIJK, W. H. A. **New technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate**. Soil Science Society of America Journal, v.51, n.3, p.599-604, 1987.



FORMULÁRIO DE ENTREGA DA VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

( ) TCC I     TCC II

Eu Carlos Henrique Eiterer de Souza,  
 como professor(a) orientador(a) do(a) aluno(a) Auramma Raquel da Silva,  
 do curso de graduação em Agromecânica declaro ter revisado e estar de acordo com as  
 correções realizadas pelo(a) aluno(a) no TCC intitulado Dedutibilidade de  
fontes de fósforo por fluxos difusivos.

Abaixo, listagem dos documentos entregues:

- Via impressa
- Via digital (Portal Acadêmico), com o arquivo em PDF.
- ( ) Termo de compromisso de realização de TCC em empresa ou outra organização ou instituição
- ( ) Declaração de aprovação no CEP
- ( ) Declaração de aprovação no CEUA

Patos de Minas, 25 de Setembro de 2018.

Carlos Henrique Eiterer de Souza  
 Assinatura do(a) orientador(a)

Auramma Raquel da Silva  
 Assinatura do(a) graduando(a)