

Braghiroli, R, Benites, VM, & Araújo, AP. (2020). Efficiency of Organo-Mineral Fertilizer Enriched with Citric Acid in Corn (*Zea Mays L.*) grown in the Greenhouse. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-17, e702974575.

Eficiência de Fertilizante Organomineral enriquecido com Ácido Cítrico em Milho (*Zea Mays L.*) cultivado em Casa de Vegetação

Efficiency of Organo-Mineral Fertilizer Enriched with Citric Acid in Corn (*Zea Mays L.*) grown in the Greenhouse

Eficiencia del Fertilizante Organomineral enriquecido con Ácido Cítrico en Maíz (*Zea Mays L.*) cultivado en Casa de Vegetación

Recebido: 16/05/2020 | Revisado: 16/05/2020 | Aceito: 24/05/2020 | Publicado: 30/05/2020

Rodrigo Braghiroli

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1973-7753>

Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Brasil

rodrigo.braghiroli@ifgoiano.edu.br

Vinicius de Melo Benites

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2602-0750>

Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil

vinicius.benites@embrapa.br

Adelson Paulo de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4106-6175>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: aparaujo@ufrj.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do fertilizante organomineral enriquecido com ácido cítrico na acumulação de matéria seca e fósforo (P) em plantas de milho cultivadas em casa de vegetação. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com fatorial 6x3, combinando seis fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo de Bayóvar, superfosfato + cama de aviário, fosfato Bayóvar + cama de aviário, superfosfato + cama de aviário + ácido cítrico, fosfato Bayóvar + cama de aviário + ácido cítrico), três doses de P aplicado (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), com quatro repetições. Os fertilizantes organominerais produzidos com superfosfato triplo propiciaram maior acumulação de matéria seca e P na parte aérea de milho, do que os fertilizantes organominerais com fosfato Bayóvar.

As plantas que receberam os fertilizantes organominerais com superfosfato apresentaram maior acumulação de biomassa e P na parte aérea que as plantas que receberam apenas superfosfato, sem efeito do ácido cítrico. O ácido cítrico adicionado ao fertilizante organomineral produzido com fosfato de Bayóvar aumentou a acumulação de P na raiz. Conclui-se que a incorporação de matéria orgânica ao fosfato solúvel aumenta o crescimento do milho e que a adição de ácido cítrico aos fertilizantes organominerais produzidos com fosfato natural aumenta a matéria seca de raiz.

Palavras-chave: Ácido orgânico; Cama de aviário; Fertilizantes fosfatados, Bayóvar.

Abstract

This research aimed to evaluate the effect of organomineral fertilizer enriched with citric acid, on accumulation of dry matter content and phosphorus (P) in maize plants grown in greenhouse. A randomized block design with 6x3 factorial was used, combining six P sources (triple superphosphate, natural reactive phosphate of Bayóvar, superphosphate + poultry litter, Bayóvar phosphate + poultry litter, superphosphate + poultry litter + citric acid, Bayóvar phosphate + poultry litter + citric acid), three applied P levels (40, 80 and 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅), with four repetitions. The organomineral fertilizers produced with superphosphate provided higher accumulation of dry matter and P in shoots of maize plants than the organomineral fertilizers with Bayóvar phosphate. Plants that received the organomineral fertilizers with superphosphate presented higher accumulation of biomass and P in shoots than plants that received solely superphosphate, without effect of citric acid. The citric acid added to the organomineral fertilizer produced with natural reactive Bayóvar phosphate increased the accumulation of P in roots. The incorporation of organic matter to triple superphosphate increases maize growth and that the addition of citric acid to the organomineral fertilizers produced with natural phosphate increases the root growth.

Keywords: Organic acid; Poultry litter; Phosphate fertilizers, Bayóvar.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de los fertilizantes organominerales enriquecidos con ácido cítrico en la acumulación de materia seca y fósforo (P) en plantas de maíz cultivadas en un invernadero. Se utilizó un diseño de bloques al azar con factorial 6x3+1, que combinaba seis fuentes de P (superfosfato triple, fosfato natural reactivo de Bayóvar, superfosfato + camada para aves, fosfato de Bayóvar + camada para aves, superfosfato + camada para aves + ácido cítrico, fosfato de Bayóvar + camada para aves + ácido cítrico), tres dosis de P aplicado (40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) con cuatro repeticiones.

Los fertilizantes organominerales producidos con superfosfato triple proporcionaron una mayor acumulación de materia seca y P en la parte aérea del maíz, que los fertilizantes organominerales con fosfato de Bayóvar. Las plantas que recibieron fertilizantes organominerales con superfosfato tuvieron una mayor acumulación de biomasa y P en la parte aérea que las plantas que recibieron solo superfosfato, sin ningún efecto del ácido cítrico. El ácido cítrico agregado al fertilizante organomineral producido con fosfato de Bayóvar aumentó la acumulación de P en la raíz. Se concluye que la incorporación de materia orgánica al fosfato soluble aumenta el crecimiento del maíz y que la adición de ácido cítrico a los fertilizantes producidos con fosfato natural aumenta la materia seca de la raíz.

Palabras clave: Ácido orgánico; Cama de pajarera; Fertilizantes fosfatados, Bayóvar.

1. Introdução

Em solos formados sob condições intensas de intemperismo, como alguns Latossolos de áreas sob vegetação de cerrado no Brasil, o solo é um forte dreno de fósforo (P) (Novais & Smyth, 1999). A adsorção de P ocorre devido a presença no solo de óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) que estão envolvidos diretamente na imobilização de P (Lopes & Cox, 1979), e a baixa taxa de difusão do fosfato na solução do solo o torna menos disponível na rizosfera (Almeida, Pocojeski, Nesi, Silva, & Oliveira, (2016). Desta forma, para tornar o solo fonte de P, são necessárias grandes quantidades de fertilizantes fosfatados.

Os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura apresentam altos teores de P solúvel e exigem em sua produção industrial alto consumo de energia e de ácido sulfúrico (Brasil & Muraoka, 1997). Fontes de P com alta solubilidade são conhecidas por apresentarem alta eficiência em curto espaço de tempo em relação aos fosfatos naturais. No entanto, em solos tropicais com elevada capacidade de adsorção de P, o nutriente oriundo da fonte solúvel é rapidamente convertido a formas menos disponíveis, reduzindo assim sua eficiência. Nesse sentido, a aplicação de fosfatos naturais pode ser um meio de baixo custo de fornecimento de P, mas em muitos casos a pequena quantidade de P liberada em curto prazo, não é satisfatória para o crescimento inicial das plantas, em particular em cultivos anuais de rápido crescimento (Novais et al., 2007).

Nas áreas sob vegetação de cerrado brasileiro, vêm sendo obtidas elevadas produções de grãos, apesar da baixa fertilidade original dos solos. Isto deve parcialmente ao sistema de plantio direto, onde a aplicação localizada do fertilizante reduz o contato entre a fonte de P

e partículas do solo, e a ausência de revolvimento do solo mantém maior quantidade matéria orgânica (Rosim et al., 2012). A matéria orgânica possui caráter aniônico, possibilitando a formação de pontes de cátions com o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, e, por meio dessas pontes, o P seria adsorvido com menos intensidade (Sanyal & de Datta, 1991; Villapando & Graetz, 2001).

A decomposição de matéria orgânica produz ácidos orgânicos, cuja distribuição de cargas favorece a interação com a fração mineral do solo, através da formação de quelatos e da competição com os sítios de adsorção de P, reduzindo a imobilização de P no solo e aumentando sua disponibilidade para as plantas (Stevenson 1994; Guppy, Menzies, Moody, & Blamey, 2005; Geelhoed, Van Riemsdijk, Findenegg, & Haynes, 1984; Novais et al., 2007). Os ácidos orgânicos, em geral, são rapidamente mineralizados no solo (Iyamuremye & Dick, 1996), mas a aplicação de resíduos orgânicos ocasiona uma reposição contínua desses ácidos, além da produção pelas raízes através da exsudação e pelo metabolismo de microorganismos (Guppy, Menzies, Moody, & Blamey, 2005). Com a adição de um composto orgânico a um fosfato de rocha pouco solúvel, a glicose resultante do metabolismo dos microorganismos decompositores formou CO₂ que reagiu com o fosfato tricálcico e formando o fosfato monocálcico solúvel.

Essas reduções na adsorção de P através de compostos orgânicos, mesmo que em pequenas proporções, podem aumentar a eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados em solos altamente intemperizados (Almeida, Pocojeski, Nesi, Silva, & Oliveira, 2016). Araújo (2011) demonstrou que a adição de matéria orgânica a fontes de fosfatos pouco solúveis aumentou a produção de milho. Sá et al (2017) demonstraram que o fertilizante organomineral apresentou maior eficiência agronômica que os fertilizantes minerais, porém não apresentou diferença significativa na recuperação de P em experimento de campo para avaliação do efeito residual. Ácidos orgânicos de ocorrência usual em solos foram adicionados a amostras de solos de diferentes composições mineralógicas, observando-se decréscimo na adsorção de P em presença dos ácidos, com aumento simultâneo da solubilização do fosfato monocálcico ou rocha fosfática (Bolan, Naidu, Mahimairajara & Baskaran, 1994).

A associação de uma fonte orgânica a uma fonte menos solúvel de P seria uma alternativa para promover a disponibilização deste nutriente para as plantas. A produção de fertilizantes organominerais granulados resultantes da associação de uma fonte de matéria orgânica com fosfato industrial e natural, pode diminuir a capacidade máxima de adsorção de P do solo e aumentar a disponibilidade de P por meio da solubilização do fosfato natural pelos

ácidos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica. A cama de aviário é um resíduo orgânico abundante principalmente no Sul e Centro-Oeste do Brasil (França et al., 2009), mas sua utilização inadequada pode contaminar o solo e o lençol freático. Além disso, seria interessante enriquecer os fertilizantes organominerais com ácido orgânico de baixo peso molecular, a fim de acelerar o processo de bloqueio dos sítios imobilizadores de P, disponibilizando por mais tempo este nutriente para a planta.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de fertilizantes organominerais fosfatados, produzidos com cama de aviário in natura e fontes minerais de P (superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Bayóvar) enriquecidos com ácido cítrico, no crescimento e acumulação de P por plantas de milho em casa de vegetação.

2. Metodologia

No presente estudo, o método quantitativo foi utilizado para avaliar os dados. Este O método gera conjuntos ou massas de dados que podem ser analisados usando técnicas matemáticas tais como porcentagens, estatísticas e probabilidades, métodos numéricos, métodos analíticos e geração de equações e / ou fórmulas matemáticas aplicáveis a qualquer processo. (Pereira et al., 2018).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 6x3, combinando seis fontes de P, três doses de P (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) com quatro repetições, totalizando 72 parcelas experimentais. O experimento em vasos com solo em casa de vegetação, onde foram aplicadas diferentes formulações de fertilizantes organominerais e cultivadas plantas de milho. As formulações dos fertilizantes combinaram cama de aviário com fontes solúveis e pouco solúveis de fósforo e adição de ácido cítrico. As plantas de milho foram coletadas após 49 dias, determinando-se a acumulação de biomassa e de P.

Preparação dos fertilizantes

As formulações de fertilizantes foram produzidas no laboratório de granulação de fertilizantes, da Universidade de Rio Verde, situada na fazenda Fontes do Saber, município de Rio Verde- GO. Foi utilizada como fonte orgânica cama de aviário in natura, composta basicamente por palha de arroz e excrementos de aves, coletada de aviário localizado no

Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. As fontes de P utilizadas foram: fosfato natural de Bayóvar, proveniente da região de Sechura, Peru, e o superfosfato triplo, fonte de P industrializado utilizada na agricultura. Os teores de P em cada fonte foram analisados no Laboratório de análise de solos e material vegetal da Universidade de Rio Verde, e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química das fontes utilizadas para produção dos fertilizantes.

Fertilizantes	P ₂ O ₅ total (%)	P ₂ O ₅ em ácido cítrico (%)
Cama de aviário	2,86	n.d.
Fosfato natural de Bayóvar	29,34	14,23
Superfosfato triplo (SFT)	48,40	n.d.

n.d.: não determinado.

Fonte: Autores.

A cama de aviário in natura foi seca ao ar, pulverizada com moinho KDS-micronex, modelo S3 e acondicionada em tambores plásticos de 100 L, para evitar o ganho de umidade. O material orgânico e o material inorgânico previamente triturados (fosfato natural reativo de Bayóvar e superfosfato triplo) foram secos em estufa a 65 °C por 12 h, e peneirados em peneira granulométrica ASTM 35 para manter a uniformidade. Após o peneiramento, as misturas calculadas para cada fertilizante foram colocadas em um liquidificador industrial, juntamente com quantidade de ácido cítrico equivalente a 50 mmol kg⁻¹ e homogeneizada por 10 min. As misturas foram levadas ao granulador de fertilizantes e os grânulos foram preparados a uma velocidade de 60 rpm com inclinação do prato de 40°. Os grânulos foram secos ao ar por 2 h e posteriormente em estufa por 48 h a 65 °C. Após a secagem, os materiais foram divididos em frações de 0-1 mm, 1-2 mm e 2-4 mm e acima de 4 mm, com peneira granulométrica (ASTM 5,10 e 18), e acondicionados em recipientes plásticos. Foram utilizados no experimento apenas os grânulos com dimensões entre 1-2 mm.

O teor de P₂O₅ total em cada fertilizante foi determinado através análise química pelo método de digestão nitroperclórica de acordo com Embrapa (2009) no laboratório de análises químicas de solos e material vegetal da Universidade de Rio Verde. As quantidades de cama de aviário, superfosfato triplo e fosfato natural de Bayovar foram calculadas de forma a se obter um fertilizante como produto final com teor de 18% de P₂O₅ total.

Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 6x3, combinando seis fontes de P e três doses de P (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), totalizando 72 parcelas experimentais. As seis fontes de P utilizadas foram: superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo de Bayóvar (B), cama de aviário + SFT (CS), cama de aviário + fosfato reativo de Bayóvar (CB), cama de aviário + SFT + ácido cítrico (CSC), cama de aviário + fosfato reativo de Bayóvar + ácido cítrico (CBC).

O solo do tipo Argissolo Vermelho Distroférrico foi coletado na profundidade de 0-20 cm de área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Este solo foi escolhido por conter baixas quantidades de nutrientes, principalmente P. A análise do solo foi realizada no laboratório de análise de solo e material vegetal da Universidade de Rio Verde, indicaram: P (mg dm⁻³) = 2,48; matéria orgânica (g dm⁻³) = 46,45; pH (em água) = 5,4; S (mmolc dm⁻³) = 3,66; T = 11,06; V = 32,92; Argila = 42,89%; Silte = 12,20%; Areia = 44,90%. Não tem os teores de P, Ca, Mg e Al?

O solo foi homogeneizado e sua umidade e capacidade de campo determinadas conforme Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos (MAPA, 2007). Foi colocado 5,38 kg de solo em vasos de plástico.

Não foi efetuada a correção de acidez do solo. Foram adicionadas em cada tratamento quantidades equivalentes a 150 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e 80 kg ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio, sendo que o N foi adicionado em três doses, uma de 50 kg ha⁻¹ no plantio e duas de 50 kg ha⁻¹ aos 15 e 30 dias após a germinação. A quantidade de P adicionado para cada tratamento foi estipulada com nos resultados da análise de cada fertilizante, respeitando os valores de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A conversão da adubação de N, P e K em kg ha⁻¹ para os vasos considerou a quantidade de nutriente por planta, para um plantio em campo com 77700 plantas por hectare. Os fertilizantes foram colocados em sulcos longitudinais no solo dos vasos, na profundidade de 5 cm, com recobrimento com solo. Três sementes de milho (*Zea mays* L.), cultivar sementes Geneze GNZ 9501 PRO, foram semeadas a 2 cm de profundidade. Aos oito dias após o plantio, foi realizado o desbaste, mantendo-se uma planta por vaso.

Após 49 dias da germinação, a parte aérea das plantas de milho foi cortada. O solo dos vasos foi lavado com água corrente para recuperar o sistema radicular. A parte aérea e a

raiz foram secas em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 h, pesadas e triturada em moinho de facas tipo Wiley. Foram realizadas análise do teor de P na parte aérea e raiz, de acordo com Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes (Embrapa, 2009).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, considerando um fatorial duplo entre fontes de P e doses de P, sem as parcelas controle sem P. A comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando o pacote estatístico SISVAR versão 4.0 (FERREIRA, 2000). Foram ajustadas curvas de regressão com as doses de P como variável independente, incluindo-se as parcelas testemunhas como a dose 0 de P. Foram testados os modelos linear e quadrático, sendo escolhido o modelo que apresentou a melhor relação entre os níveis de significância e R^2 .

3. Resultados e Discussão

A análise de variância indicou interações significativas entre as fontes e as doses de P, para a matéria seca de parte aérea, matéria seca de raiz, P acumulado na parte aérea, P acumulado na raiz e P acumulado total. A Tabela 2 apresenta os efeitos das diferentes formulações de fertilizante organomineral na acumulação de biomassa e de P nas plantas de milho, com os valores médios das três doses de P (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicadas.

Tabela 2. Matéria seca de parte aérea e de raiz, e P acumulado na parte aérea, raiz e na planta toda, de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅); valores correspondem à média de três doses de P.

Fonte de P	Matéria seca de parte aérea (g planta ⁻¹)	Matéria seca de raiz (g planta ⁻¹)	P acumulado na área planta ⁻¹	P acumulado na raiz (mg planta ⁻¹)	P acumulado total (mg planta ⁻¹)
Bayóvar	38,9 bc	13,5 bc	47,9 b	8,3 bc	56,1 b
Cama de aviário + Bayóvar	38,7 bc	13,6 bc	44,1 b	9,8 b	53,9 b
Cama + Bayóvar + ácido cítrico	35,1 c	13,8 bc	42,2 b	12,5 a	54,7 b
Supertriplo	34,4 c	11,2 c	47,4 b	6,4 c	53,9 b
Cama + supertriplo	44,0 a	17,7 a	57,7 a	8,7 b	66,3 a
Cama + supertriplo + ácido cítrico	42,4 ab	15,6 ab	57,2 a	8,9 b	66,1 a

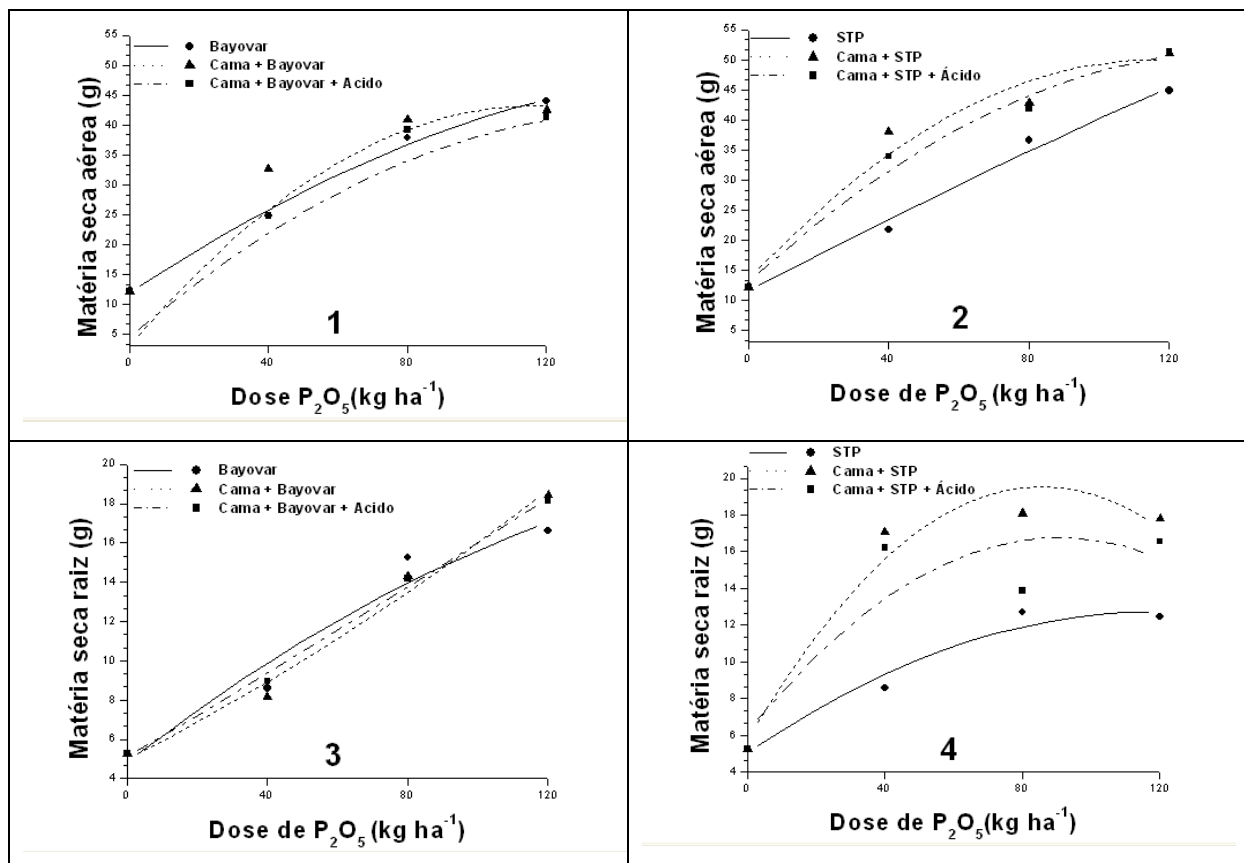
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.
 Fonte: Autores.

De acordo com a Tabela 2 as plantas que receberam as formulações produzidas com o superfosfato triplo apresentaram maiores acumulação de biomassa e de P na parte aérea, do que as plantas crescidas com as formulações com fosfato natural reativo de Bayóvar. Ferreira (2014) encontrou maiores conteúdos de P disponíveis quando plantas de milho foram cultivadas com fosfatos solúveis (MAP granulado, superfosfato triplo e MAP diluído em água), em comparação com fertilizantes organominerais. Segundo o autor, o lançamento do P foi mais rápido com fontes solúveis porque a disponibilidade do fração orgânica do elemento no solo requer a mineralização de matéria orgânica. As plantas cultivadas com fosfato de Bayóvar associado à cama de aviário, com ou sem a adição de ácido cítrico, não apresentaram

diferenças na acumulação de matéria seca de parte aérea e raiz e de P na parte aérea, em relação à aplicação do Bayóvar isoladamente. Entretanto, foi observado aumento no P acumulado na raiz com o fertilizante produzido com cama de aviário, fosfato de Bayóvar e ácido cítrico, quando comparado ao fosfato de Bayóvar e ao fertilizante com cama de aviário e fosfato de Bayóvar. As plantas cultivadas apenas com superfosfato triplo apresentaram menores matérias seca de parte aérea e raiz, e P acumulado na parte aérea e raiz, do que as plantas que receberam o superfosfato associado com a cama de aviário, sem efeitos da adição de ácido cítrico. Todos os tratamentos contendo superfosfato triplo apresentaram resultados superiores aos demais, com exceção do tratamento cama + fosfato reativo de Bayóvar e ácido cítrico que apresentou o melhor resultado para fósforo acumulado na raiz.

A Figura 1 apresenta as curvas de regressão da produção de biomassa de parte aérea e de raiz das plantas de milho, em resposta ao aumento das doses de P aplicadas ao solo, nas diferentes formulações de fertilizantes organominerais. A maior produção de matéria seca de parte aérea ocorreu na maior dose de P (120 kg ha^{-1} de P_2O_5), mas com resposta quadrática às doses de P (Figura 1). Para os fertilizantes contendo fosfato natural reativo de Bayóvar, a matéria seca (Figura 1.1) de parte aérea e de raiz (Figura 1.3) não apresentaram diferenças entre as diferentes formulações de fertilizantes. Para as formulações contendo superfosfato triplo, os fertilizantes produzidos com cama de aviário apresentaram maiores valores de massa seca de parte aérea (Figura 1.2) e raiz (Figura 1.4) que o superfosfato triplo isoladamente, sem efeitos da adição de ácido cítrico.

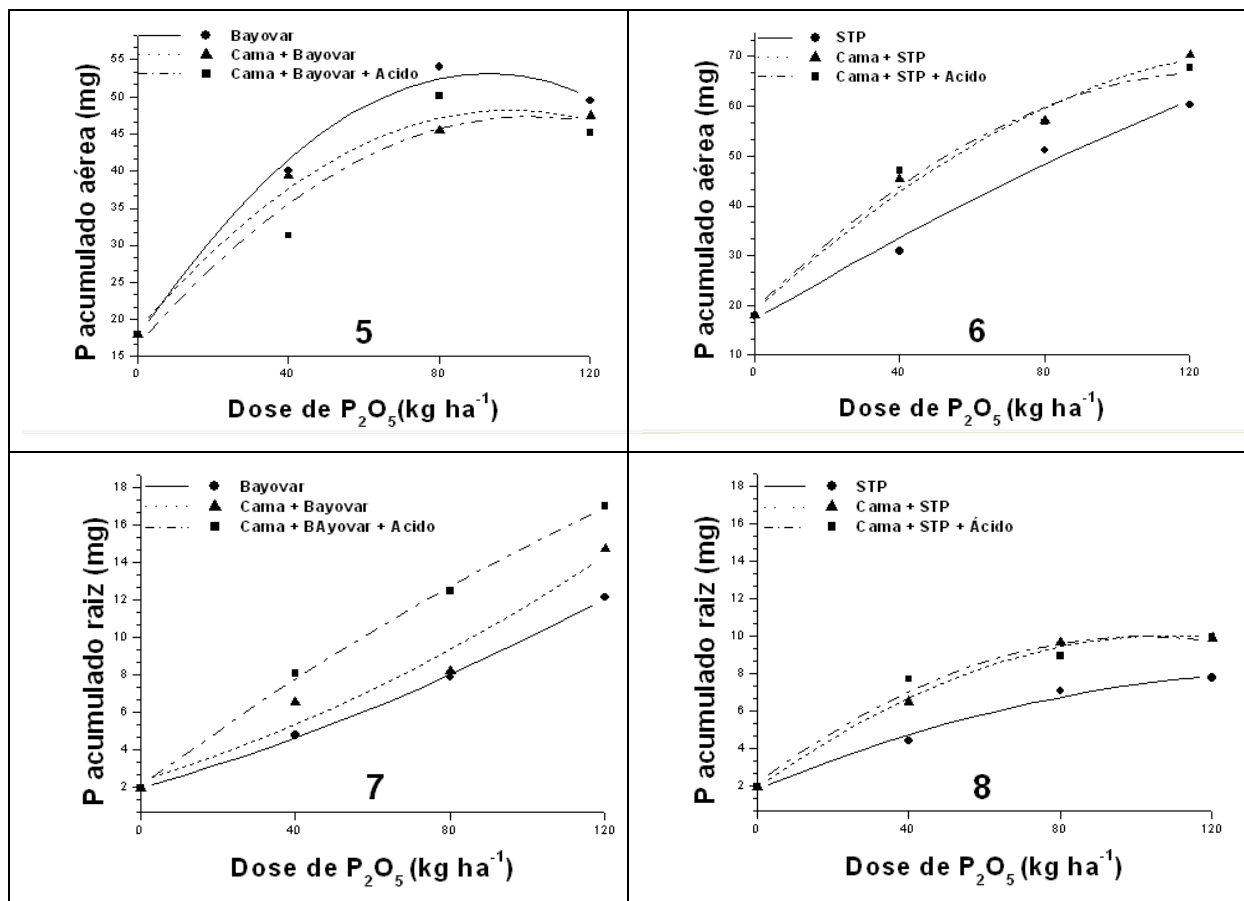
Figura 1. Matéria seca de parte aérea (Bayóvar 1.1; Superfosfato triplo 1.2) e matéria seca de raiz (Bayóvar 1.3; Superfosfato triplo 1.4) de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P_2O_5 (0, 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$).



Fonte: Autores.

A Figura 2 apresenta as curvas de regressão da acumulação de P na parte aérea e raiz das plantas de milho, em resposta ao aumento das doses de P aplicadas ao solo. Os acúmulos de P na parte aérea apresentaram valores máximos na dose de 80 $kg\ ha^{-1}$ para as formulações com fosfato de Bayóvar (Figura 2.4), e na dose de 120 $kg\ ha^{-1}$ para as formulações com superfosfato (Figura 2.5). A adição de cama de aviário e ácido cítrico proporcionou um maior acúmulo de P nas raízes das plantas de milho, quando comparado ao fosfato de Bayóvar isoladamente (Figura 2.7). A acumulação de P na parte aérea e raiz foram menores nas plantas que receberam o superfosfato triplo isoladamente, do que naquelas que receberam o superfosfato associado à cama de aviário (Figura 2).

Figura 2. Acúmulo de P na parte aérea (Bayóvar 2.5; Superfosfato triplo 2.6) e acúmulo de P na raiz (Bayóvar 2.7; Superfosfato triplo 2.8) de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P_2O_5 (0, 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$).



Fonte: Autores.

A comparação das variáveis dentro de todos os tratamentos implantados mostra que o fertilizante organomineral produzido com cama de aviário e superfosfato triplo apresentam resultados superiores nos valores de matéria seca de parte aérea e raiz e no P acumulado na parte aérea das plantas de milho. Quando comparado às fontes minerais ou compostos orgânicos, o fertilizante organomineral aumenta a interação planta-mineral por reduzir a adsorção de P (Parent, Khiari, & Pellerin, 2003), diminuir a transformação de P em formas indisponíveis para a planta (Iyamuremye & Dick, 1996; Khiari & Parent, 2005). Entretanto, o fertilizante produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar associado à cama de aviário e enriquecido com ácido cítrico apresentou maior acumulação de P na raiz da planta de milho

(tabela 2) fato este que esta de acordo com Lee & Bartlett (1976) que demonstraram que associação de fonte de fósforo e matéria orgânica ativa a atividade de enraizamento precoce.

De acordo com Schachtman, Reid, Ayling e Diem (2000) quando o fornecimento de fósforo inorgânico é limitado, as plantas priorizam o crescimento de raízes e aumentam sua taxa de absorção, translocam P das folhas mais velhas e removem as reservas de P do vacúolo.

Os resultados apresentados demonstram a eficiência da utilização de resíduos orgânicos, neste caso, cama de aviário em associação com fontes solúveis de fósforo para aumento de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea de plantas de milho, podendo assim, aumentar a produção e diminuir a perda de fósforo por adsorção e aumentar o efeito residual em solos com alto teor de óxidos de alumínio, pois, a matéria orgânica funciona como barreira, impedindo o contato direto da fonte de fósforo com o solo como demonstrado nos resultados.

A associação de matéria orgânica e fontes pouco solúveis de fósforo aumentam a quantidade deste nutriente na raiz da planta, entretanto não apresenta resultados significativos em curto prazo, necessitando de estudos mais aprofundados para se conhecer o efeito residual e se a atividade microbiana exerce efeito sobre a solubilização de fósforo.

O ácido cítrico não demonstrou os resultados esperados em nenhuma das variáveis mensuradas, exceto no tratamento com cama de aviário e fosfato natural reativo de Bayóvar onde, neste caso aumento a acumulação de fósforo nas raízes da planta. O resultado demonstrou concordância com os resultados apresentados por Bolan, Naidu, Mahimairajara e Baskaran (1994), que indicam maior eficiência agrônômica para a rocha fosfática, sugerindo que os ácidos orgânicos aumentam a disponibilidade de P nos solos, principalmente através da redução da adsorção e aumento na solubilização dos compostos de P.

4. Considerações Finais

O fertilizante organomineral produzido com cama de aviário e superfosfato triplo apresentou resultado superior ao superfosfato triplo puro com aumento de matéria seca de parte aérea e raiz e P acumulado na parte aérea da planta.

O fertilizante organomineral produzido com cama de aviário e fosfato natural reativo de Bayóvar apresentou resultado superior na acumulação de fósforo na raiz das plantas cultivadas, sendo necessárias novas pesquisas para se determinar o fósforo residual.

O ácido cítrico não demonstrou efetividade no aumento da disponibilidade de fósforo na parte aérea das plantas, porém mostrou resultado efetivo de acumulação de fósforo nas raízes das plantas que utilizaram fertilizante organomineral produzido com fonte de fósforo pouco solúvel.

Futuramente, espera-se que a produção de fertilizantes organominerais promova a diversificação, regionalização, distribuição dos resíduos agroindustriais de maneira ecologicamente correta e a desconcentração econômica da produção de fertilizantes no país.

Agradecimentos

Instituto Federal Goiano (IF Goiano – Campus Rio Verde), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg) pelo apoio financeiro.

Referências

Almeida, T., Pocojeski, E., Nesi, C.N., Silva, L.S. & Oliveira, J.P.M. (2016). Eficiência de fertilizante fosfatado protegido na cultura do milho. *Scientia Agraria*, 17(1): 29-35.

Araújo, F.F. (2011). Disponibilidade de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33(2): 355-360.

Bolan, N., Naidu, R., Mahimairajara S. & Baskaran, S. (1994). Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. *Biology and Fertility of Soils*, 18(4): 311-319.

Brasil, E. C., & Muraoka, T. (1997). *Avaliação Agronômica de Fertilizantes Fosfatados de Solos do Pará*. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42798/1/Boletim-Pesquisa-171-CPATU.pdf>>. Acesso em 17 de 05 de 2020.

Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (2ª ed.). (F. C. Silva, Ed.) Brasília, DF, Brasil: Embrapa Informação Tecnologia.

Ferreira, D. F., (2014) Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2) 109-112. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

Geelhoed, J., Van Riemsdijk, W. & Findenegg, G. (1999). Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. *European Journal of Soil Science*, v. 50(3): 379-390.

Guppy, C., Menzies, N., Moody, P. & Blamey, F. (2005). Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 43(2): 189-202.

Haynes, R. (1984). Lime and phosphate in the soil-plant system. *Advances in Agronomy*, 37: 249-315.

Iyamuremye, F. & Dick, R. (1996). Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Advances in Agronomy*, 56: 457-461.

Khiari, L. & Parent, L.E. (2005). Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(1): 75-87.

Kiehl, E. J. (2013). *Fertilizantes organominerais*. 5. ed. Atual. Piracicaba, SP, Brasil: Editora Degaspari.

Lee, Y.S. & Bartlett, R.J. (1976). Stimulation of plant growth by humic substances. *Soil Science Society of America Journal*, 40: 479-576.

Levrero, C.R. (2009). Fertilizante organomineral: a serviço do mundo. FÓRUM abisolo., Piracicaba – SP, Brasil. p. 1-21 Disponível em: <<http://www.abisolo.com.br/forum/fertilizantesorganominerais.php>> Acesso em 15 mar. 2015.

Lopes, A.S.; Cox, F.R. (1979). Relação de características físicas químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, Brasil. 3: 82-88.

Novais, R.F., Smyth, T.J., & Nunes, F.N. (2007). Fósforo. In: Novais, R.F., Alvarez, V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B. & J.C.L. Neves (Eds.). *Fertilidade do solo* (1ª ed., p. 471-537). Viçosa, MG, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Novais, R.; & Smyth, T. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais [versão eletrônica]. *Informações Agronômicas*, 87: 10-15.

Parent, L.E., Khiari, L. & Pellerin, A. (2003). The P fertilization of potato: Increasing agronomic efficiency and decreasing environmental risk. *Acta Horticulturae*, 627: 35-41.

Pereira, A.S. et al. (2018). Metodologia do trabalho científico. [e-Book]. Santa Maria. Ed. UAB / NTE / UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acessado em: 17 de Maio, 2020.

Sá, J. M., Jantalia, C. P., Teixeira, P. C., Polidoro, J. C. Benites, V. M. & Araújo, A.P., (2017). Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9): 786-793. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000900011

Sanyal, S. K., De Datta, S. K. (1991). *Chemistry of phosphorus transformations in soil* (S.K. Sanyal and S.K de Datta eds.). New York: Springer Verlag Press.

Schachtman, D. P., Reid, R. J. & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*. 116: 447-453. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>

Stevenson, F.J. (2009). *Humus chemistry: genesis, composition reactions* (F.J. Setevenson, ed.). New York: John Willey

Teixeira, W. G., Sousa, R. T. X., & Korndorfer, G. H. (2014). Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. *Bioscience Journal*, 30(6): 1729-1736.

Villapando, R., & Graetz, D. (2001). Phosphorus sorption and desorption properties of the spodic horizon from selected Florida spodosols. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2):.331-339.

Zebarth, B.J., Chabot, R., Coulombe, J., Simard, R.R., Douheret, J., & Tremblay, N. (2012). Pelletized organo-mineral fertilizer product as a nitrogen source for potato production. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(3): 387-395.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Rodrigo Braghiroli – 50%

Adelson Paulo de Araújo – 30%

Vinicius de Melo Benites – 20%