

LUCAS DE ÁVILA SILVA

**A PLANTA E A FORMA DE NITROGÊNIO NA
SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO NATURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586p
2014 Silva, Lucas de Ávila, 1989-
 A planta e a forma de nitrogênio na solubilização de fosfato
 natural / Lucas de Ávila Silva. – Viçosa, MG, 2014.
 xi, 86f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Edson Marcio Mattiello.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Rizosfera. 2. Plantas e solo. 3. Milheto. 4. Adsorção.
5. Fosfato natural. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

LUCAS DE ÁVILA SILVA

**A PLANTA E A FORMA DE NITROGÊNIO NA
SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO NATURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2014.

Ivo Ribeiro da Silva

Fernando A. Vieira Rodrigues

Reinaldo Bertola Cantarutti
(Coorientador)

Edson Marcio Mattiello
(Orientador)

À minha mãe *Marilda* e ao meu pai *Carlos Antonio (in memoriam)*,
pelo incentivo aos estudos e exemplo de dedicação.

À minha noiva e futura esposa *Patrícia*, pelo amor e apoio.

À minha irmã *Nathália*, pelos momentos maravilhosos
compartilhados.

À minha família e amigos, pelo carinho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, Pai Eterno.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, por possibilitarem a realização deste curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

Ao professor Edson Marcio Mattiello, pela orientação e, principalmente, pela amizade. Aos professores Ivo Ribeiro, Reinaldo Cantarutti, Adriano Nunes Nesi, Roberto Ferreira de Novais e Fernando Rodrigues, pelas contribuições.

Aos funcionários do Departamento de Solos, especialmente Paulo Roberto, Írio Fernando, Carlos Fonseca, Beto, Lula, Cláudio, Luiz Fernando, sr. Cardoso, Jorge Orlando, Leiliane, Luciana e dona Sônia.

Aos estudantes de graduação Rita, Andressa, Matheus, José Lucas e Guilherme, ao laboratorista Paulo Roberto e à minha noiva Patrícia, pelas contribuições na execução dos experimentos.

Aos colegas da pós-graduação, especialmente Wedisson, Odirley, Rafael Teixeira, Rafael Valadares, Elton, Ithamar, Dener, Gelton, Diogo, Roberto, Róberson, Ivan e Silvano, pela amizade e pelos bons momentos.

Aos professores do Departamento de Solos, especialmente os professores Júlio César Lima Neves e Leonardus Vergütz, pela participação na minha formação.

Ao pessoal do Grupo de Estudos de Fertilizantes (GeFert) e Grupo de Estudos do Solos, pela iniciativa e amizade.

Ao pessoal dos laboratórios de Fertilidade do Solo, Rotina, Isótopos Estáveis, Sementes e Nutrição e Metabolismo, pela colaboração na avaliação dos experimentos.

A todos os professores presentes na minha formação, pela dedicação.

Aos amigos da República BTL: Ivo, João Paulo, Murilo (Baiano), Vinícius e Vitor; República BTL pós: Paulo, Volmir, Ítalo (Pelé), Alessandro (Cabelo), Gabriel (Alemão) e Marcelo (Gaúcho); e da banda Seleção Sertaneja: Gabriel, Marcelo (Frutal), Tiago (Tiagão), Matheus (Matheusinho) e sr. Edinho, por todo o apoio e pelos momentos inesquecíveis vividos.

BIOGRAFIA

LUCAS DE ÁVILA SILVA, filho de Carlos Antonio Rabelo da Silva e Marilda Aparecida de Ávila Silva, nasceu em 27 de dezembro de 1989, em Araguari - MG.

Em dezembro de 2006, concluiu o ensino médio na Escola Estadual Professor Vicente Lopes Perez, em Monte Carmelo - MG.

Em março de 2007, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, tornando-se Engenheiro-Agrônomo em janeiro de 2012.

Em março de 2012, iniciou o mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Professor Edson Marcio Mattiello, concluindo-o em fevereiro de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	3
CAPÍTULO 1	5
<i>ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO MILHETO EM REPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA COMBINADA COM NITROGÊNIO</i>	
RESUMO	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
3. RESULTADOS.....	13
4. DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES.....	25
6. REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO 2	32
<i>ALTERAÇÕES RIZOSFÉRICAS COM A APLICAÇÃO DE FOSFATO NATURAL E NITROGÊNIO</i>	
RESUMO	32
ABSTRACT.....	33
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	36
3. RESULTADOS.....	41
4. DISCUSSÃO	50
5. CONCLUSÕES.....	53

6. REFERÊNCIAS.....	54
CONCLUSÕES GERAIS	59
APÊNDICE	60

RESUMO

SILVA, Lucas de Ávila, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014.
A planta e a forma de nitrogênio na solubilização de fosfato natural. Orientador:
Edson Marcio Mattiello. Coorientadores: Reinaldo Bertola Cantarutti e Adriano
Nunes Nesi.

Na maioria dos solos brasileiros, a adsorção específica de P em óxidos e a precipitação como diferentes formas de fosfatos de Fe e Al dificultam a absorção e utilização de fosfato pelas plantas. Nessas condições, a utilização de espécies vegetais com sistema radicular desenvolvido e a combinação de fertilizantes podem favorecer a recuperação do P adicionado. Para avaliar a influência da planta e a combinação de fertilizantes na solubilização de fosfatos naturais e disponibilidade de P, plantas pré-germinadas de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) foram cultivadas em câmara com luz e temperatura controlada. As plantas cresceram em rizotubos, estrutura cilíndrica oca que favorece uma maior densidade de raiz. Foram aplicadas fontes de P combinadas com fontes de N em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa (P_{baixo}) e média (P_{medio}) disponibilidade inicial de P. As fontes de P utilizadas foram os fosfatos naturais (FNs) de Bayóvar e de Araxá e o superfosfato triplo (ST), e as de N, $(NH_4)_2SO_4$ e $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Rizotubos sem a planta foram mantidos como controle. Após 46 d de cultivo, as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz, para determinação da massa de matéria seca e do conteúdo de P, Ca, Mg e N. O solo foi seco e peneirado para a análise de P-resina, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , NH_4^+ e pH. Os resultados indicaram maior nitrificação em P_{medio} (na ausência de planta). A presença da planta favoreceu a solubilização dos

FNs. Observou-se que a resposta à adubação fosfatada combinada com N depende dos teores iniciais de P no solo. De maneira geral, o fornecimento de N-NH_4^+ proporcionou maior produção de matéria seca em P_{baixo} , maior conteúdo de P e aumento da recuperação pela planta do FN Araxá em P_{baixo} e do FN Bayóvar em $\text{P}_{\text{médio}}$. Na presença de planta, houve aumento da eficiência agronômica dos FNs em relação ao ST quando o solo apresentava média disponibilidade de P.

ABSTRACT

SILVA, Lucas de Ávila, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014.
The plant and nitrogen form in the solubilization of rock phosphate. Adviser:
Edson Marcio Mattiello. Co-advisers: Reinaldo Bertola Cantarutti and Adriano
Nunes Nesi.

In most Brazilian soils, the specific adsorption of P to oxides and precipitation in different Fe and Al phosphate forms hamper the phosphate uptake and use by plants. Under these conditions, using plant species with a well-developed root system and fertilizer combinations can promote the recovery of P applications. To assess the influence of a plant species and fertilizer combinations on the solubilization of phosphate rocks (PR) and P availability, pre-germinated plants of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) were grown under controlled light and temperature conditions. To favor a higher root density, the plants were grown in hollow cylindrical rooting tubes. Combined P and N sources were applied to samples of a Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) with low (P_{low}) and medium (P_{med}) initial P availability. The P sources consisted of Bayóvar and Araxá PRs and triple superphosphate (TS), and of N, $(NH_4)_2SO_4$ and $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Rooting tubes without plants were maintained as controls. After 46 d of cultivation, the plants were cut and separated into aerial and root parts to determine dry matter and P, Ca, Mg, and N concentrations. The soil was dried and sieved to analyze P-resin, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , NH_4^+ and pH. The results indicated higher nitrification in P_{med} (without plant). The presence of plants favored the solubilization of PR. It was observed that the response to P + N fertilization was related to the initial soil P content. In general, the

supply of N-NH_4^+ induced a higher dry matter production in P_{low} , and increased the P concentration and plant P recovery from Araxá PR in P_{low} and from Bayóvar PR in P_{med} . The presence of plants increased the agricultural efficiency of PR over TS in soil with medium P availability.

INTRODUÇÃO GERAL

Entre os elementos essenciais às plantas, o fósforo destaca-se pela dificuldade de manejo, principalmente em solos alcalinos e naqueles altamente intemperizados, como em grande parte do território brasileiro. No primeiro caso, o elemento pode ser precipitado como variados fosfatos cálcicos; já no segundo, além de precipitar como diferentes formas de fosfatos de ferro e alumínio (Norrish & Rosser, 1983; Lindsay et al., 1989), também pode ser adsorvido especificamente em óxidos de ferro e alumínio (Parfitt, 1978; Novais & Smyth, 1999; Novais et al., 2007).

A atividade de raízes e a presença de microrganismos fazem com que o solo tenha propriedades peculiares. Algumas dessas propriedades podem influenciar diretamente a disponibilidade de P no solo, como, por exemplo, a alteração do pH e a liberação de ânions/ácidos orgânicos e de enzimas; essas diferenças podem ser mais ou menos influenciadas, o que irá depender da espécie vegetal, do status nutricional e das condições ambientais vigentes (Hinsinger, 2001).

O pH do solo é uma propriedade que pode ser alterada por mecanismos distintos e tem grande influência na região rizosférica. Um menor valor de pH pode favorecer a solubilização de fosfatos de cálcio pouco solúveis e aumentar a biodisponibilidade de P nessa região, favorecendo sua absorção. Por outro lado, os

fosfatos de Fe e Al têm solubilização aumentada com a elevação do pH, fator que pode influenciar também na densidade de cargas (positivas) desses óxidos e na adsorção, como supracitado.

O pH pode ser modificado de acordo com a exigência nutricional da planta, compensando o excesso de cátions ou ânions absorvidos; o nitrogênio é um importante nutriente nesse processo devido à alta absorção e utilização das formas aniônica (NO_3^-) ou catiônica (NH_4^+) (Hinsiger, 2001; Dakora & Phillips 2002). Plantas com preferência de absorção de N na forma catiônica ou plantas com associação simbiótica fixadora de N (Raven et al., 1990) tendem a promover acidificação mais expressiva da rizosfera, ao passo que plantas com absorção preferencial pela forma aniônica tendem a alcalinizar esse meio.

Outra reação capaz de alterar o pH do solo é a nitrificação, sobretudo em solos bem aerados. Essa reação ocorre na presença de bactérias quimioautotróficas, que oxidam a forma amoniacal até a forma nítrica e, conseqüentemente, libera prótons na solução. Para cada mol de NH_4^+ oxidado, há liberação de dois mols de H^+ (Cantarella, 2007).

Estudos recentes têm demonstrado maior eficiência de absorção de P na presença de N-NH_4^+ (Kant et al., 2011; Zeng et al., 2012). Neste trabalho, procurou-se avaliar a solubilização de FNs, a disponibilidade e a absorção de P quando combinadas com uma fonte de N-NH_4^+ ou N-NO_3^- na rizosfera de milheto cultivado em amostras de um Latossolo com dois níveis de P iniciais.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a solubilização de fosfatos naturais (FNs) combinados com N, a disponibilidade e a absorção de P pelo milheto cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa e média disponibilidade de P.

REFERÊNCIAS

- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.
- DAKORA, F. D. & PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant Soil*, 245:35-47, 2002.
- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, 237:173-195, 2001.
- KANT, S.; PENG, M. & ROTHSTEIN, S. J. Genetic regulation by NLA and microRNA827 for maintaining nitrate-dependent phosphate homeostasis in *Arabidopsis*. *PLoS genetics*, 7: e1002021, 2011.
- LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G. & CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. *Minerals in soil environment*. 2. ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, 1989. p. 1089-1130.

- NORRISH, K. & ROSSER, H. Mineral phosphate. In: NORRISH, K. & ROSSER, H., Soils: an Australian viewpoint. Melbourne, CSIRO/London, UK, Australia, Academic Press, 1983. p. 335-361.
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. & NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.
- PARFITT R. L. The availability of P from phosphate-goethite bridging complexes, desorption and uptake by ryegrass. Plant Soil, 53:55-65, 1979.
- RAVEN, J. A.; FRANCO, A. A.; DE JESUS, E. L. & JACOB-NETO, J. H⁺ extrusion and organic-acid synthesis in N₂-fixing symbioses involving vascular plants. New Phytol., 14:369-389, 1990.
- ZENG, H.; LIU, G.; KINOSHITA, T.; ZHANG, R.; ZHU, Y.; SHEN, Q. & XU, G. Stimulation of phosphorus uptake by ammonium nutrition involves plasma membrane H⁺ ATPase in rice roots. Plant soil, 357:205-214, 2012.

CAPÍTULO 1

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO MILHETO EM REPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA COMBINADA COM NITROGÊNIO

RESUMO

A baixa disponibilidade de P no solo aliada à baixa eficiência de absorção do nutriente aplicado têm sido importantes entraves na produção agrícola em ambientes tropicais. As raízes e as propriedades do solo influenciadas por elas são de grande importância para o manejo sustentável da fertilização fosfatada. Para avaliar o efeito da combinação de fosfatos naturais com fontes de N-NH_4^+ ou N-NO_3^- na absorção de P, foi conduzido um ensaio com milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa e média disponibilidade do nutriente P. As sementes foram pré-germinadas, e as plântulas uniformes, transplantadas para rizotubos com 10 cm^3 de solo, onde cresceram em câmara com luz e temperatura controlada. As fontes de P utilizadas foram fosfato natural (FN) de Araxá, FN Bayóvar e superfosfato triplo (ST), aplicadas em um solo com teores de P classificados como baixo (P_{baixo}) e médio ($\text{P}_{\text{médio}}$), combinadas com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Após 46 d, as plantas foram colhidas, obtendo-se a produção de matéria seca de parte aérea e raiz, teores e conteúdo de P e N. Os resultados indicaram que a adição de N em fosfatos naturais aumentou a eficiência de absorção de P da fonte, principalmente combinados com a fonte amoniacal. Em solo com média disponibilidade de P, os fosfatos naturais apresentaram maior eficiência de absorção desse nutriente, com destaque para FN Bayóvar. A fonte solúvel de P proporcionou maior acúmulo de P no milheto, seguida dos FNs Bayóvar e Araxá.

CHAPTER 1

NUTRIENT ABSORPTION BY PEARL MILLET IN RESPONSE TO COMBINED PHOSPHATE-NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT

The low P availability in the soil combined with low absorption efficiency of the applied fertilizer represent major barriers to the agricultural production in tropical environments. The roots and soil properties influenced by these conditions are essential for a sustainable management of P fertilization. To evaluate the effect of combinations of rock phosphates with N-NH_4^+ or N-NO_3^- sources on P uptake, pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) plants were grown on a Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) with low and medium availability of the nutrient P. The seeds were pre-germinated and healthy seedlings transferred to rooting tubes with 10 cm³ of soil, where they were grown under controlled light and temperature conditions. Araxá and Bayóvar phosphate rock (PR) as well as triple superphosphate (TS) were applied as P sources to a soil with initial P contents classified as low (P_{low}) and medium (P_{med}) combined with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. After 46 d the plants were harvested to determine the dry matter production of the aerial and root part and P and N contents and concentrations. The results indicated that the integration of N in rock phosphates increased the P uptake efficiency of the source, particularly of the one associated with ammonia. In soil with medium P availability, the P uptake efficiency of the phosphate rocks was higher, mainly of Bayóvar PR. The soluble P source induced highest cumulative P in pearl millet, followed by Bayóvar and Araxá PR.

1. INTRODUÇÃO

A deficiência de P pode ser uma das principais limitações para o crescimento vegetal (Marschner, 1995). Alguns trabalhos mostram que de 30 a 40 % da produtividade é limitada pela disponibilidade de P (Runge-Metzger, 1995; von Uexküll & Mutert, 1995). Em solos tropicais a concentração de P na solução geralmente é menor que $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (Novais & Smyth, 1999). Em adição, o fluxo difusivo de P no solo é baixo, em torno de 10^{-12} a $10^{-15} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Schachtman et al., 1998), e há alta capacidade de adsorção das espécies de P pelos óxidos de Fe e Al (Parfitt, 1978; Novais & Smyth, 1999; Novais et al., 2007), o que faz com que o sistema radicular e sua influência no ambiente sejam de importância crucial no manejo eficiente da fertilização fosfatada (Parfitt, 1979; Hinsinger & Gilkes, 1996; Morel & Hinsinger, 1999; Hinsinger, 2001; Dakora & Phillips, 2002).

Hinsinger (2001) listou, na seguinte ordem, os principais processos induzidos diretamente pelas raízes capazes de alterar a biodisponibilidade de P: (i) atividade de absorção radicular; (ii) processos capazes de afetar o pH, como equilíbrio de absorção cátion/ânion e trocas gasosas (O_2/CO_2); e (iii) liberação de exsudatos como ligantes orgânicos.

Apesar da toxicidade provocada por NH_4^+ à maioria das espécies vegetais (Kronzucker et al., 1997), alguns trabalhos preveem a diminuição do pH rizosférico e maior absorção de P com a aplicação NH_4^+ , enquanto os resultados com aplicação de NO_3^- têm tendência inversa (Sarkar & Wyn Jones, 1982; Hoffman et al., 1994; Kant et al., 2011).

Jing et al. (2010), trabalhando em solo calcário, mostraram que a aplicação localizada de P combinado com amônio melhorou significativamente o crescimento

do milho e a utilização de nutrientes nas fases iniciais, estimulando a proliferação de raízes e acidificação da rizosfera. Ding et al. (2011) mostraram que o NH_4^+ induziu a acidificação e otimizou a atividade da fosfatase ácida excretada por raízes na rizosfera de milho, melhorando o crescimento de raízes e a absorção de P de fitina; o aumento do crescimento, por sua vez, aumentou a absorção NH_4^+ e a acidificação.

Considerando a limitada reserva de rocha fosfática de qualidade química superior, de baixo custo de exploração e processamento (Vance et al., 2003; Cordell et al., 2009), é de relevância a utilização eficiente das fontes disponíveis. A aplicação direta de FN (Chien & Menon, 1995 a) e a fosfatagem constituem práticas comuns no Brasil e têm contribuído para um aumento lento e gradual da disponibilidade de P no solo. A “construção” da fertilidade do solo, sobretudo pelo aumento da disponibilidade de P em solos naturalmente pobres, tem alterado a dinâmica no solo e a eficiência de absorção pelas plantas.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a influência da combinação de fosfatos naturais com fontes de N-NH_4^+ ou N-NO_3^- na absorção de P pelo milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa e média disponibilidade de P.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e preparo do solo

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo com 63 % de argila, coletado em Viçosa-MG. As características químicas do solo são apresentadas no quadro 1 (Embrapa, 1997).

Inicialmente o solo foi passado na peneira de abertura de 2 mm. A saturação por bases foi calculada para ser elevada a 50 % (Raij, 1981), por meio da aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 na proporção molar de 3,5:1. O solo foi mantido incubado por 30 d com umidade na capacidade de campo. Após esse período foi feita determinação de Ca^{2+} e Mg^{2+} , atingindo-se valores de 2,45 e 0,43 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Com a calagem o pH foi de 5,63 e o P, determinado pelo método da resina aniônica (P-resina) (Raij et al., 1986), foi de 0,07 mg dm^{-3} .

Parte do solo usado no ensaio foi incubado com superfosfato triplo (150 mg dm^{-3} de P) por mais 30 d, de modo a atingir um teor médio de P no solo. Após este período foram determinados o Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo 2,35 e 0,60 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; o pH, 5,36 e o P-resina, 30,07 mg dm^{-3} . Em sequência, o solo foi seco e novamente passado na peneira com abertura de 2 mm.

Quadro 1. Análise química da amostra de solo utilizada.

Características	Valores	Características	Valores
pH (água) ⁽¹⁾	4,52	T (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁹⁾	5,87
pH (KCl) ⁽¹⁾	4,26	MO (dag kg ⁻¹) ⁽⁷⁾	1,71
P (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	1,20	P remanescente (mg L ⁻¹)	8,10
K (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	7,00	Zn (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	0,56
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0,23	Fe (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	39,60
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0,02	Mn (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	5,30
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	1,07	Cu (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	0,90
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁴⁾	5,60	B (mg dm ⁻³) ⁽⁵⁾	0,19
t (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁸⁾	1,34	S (mg dm ⁻³) ⁽⁶⁾	53,60
⁽¹⁾ Relação solo:água de 1:2,5		⁽⁶⁾ Extrator fosfato monocálcico em ácido acético	
⁽²⁾ Extrator Mehlich-1		⁽⁷⁾ Mat. Org. - C.Org x 1,723 - Walkley-Black	
⁽³⁾ Extrator KCl 1 mol L ⁻¹		⁽⁸⁾ t: Capacidade de troca catiônica efetiva	
⁽⁴⁾ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹ a pH 7,0		⁽⁹⁾ T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0	
⁽⁵⁾ Extrator água quente			

2.2. Caracterização das fontes de P e condução do experimento

As fontes de P utilizadas foram o superfosfato triplo (44,0 % P₂O₅), o fosfato natural de Bayóvar (29,8 % P₂O₅ total e 15,6 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2 %) e o fosfato natural de Araxá (30,7 % P₂O₅ total e 4,6 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2 %).

A fonte de N-NH₄⁺ foi o (NH₄)₂SO₄ e de N-NO₃⁻ foi Mg(NO₃)₂.6H₂O. Em alguns tratamentos utilizou-se 9 mg dm⁻³ de dicianodiamida (DCD) como inibidor da nitrificação (Marcelino, 2009; Di & Cameron, 2004). O fornecimento dos demais nutrientes foi realizado diariamente via solução nutritiva, aplicando o mesmo volume para cada unidade experimental, evitando a percolação. Ao todo foram aplicados 160 mg dm⁻³ de K e 66 mg dm⁻³ de S (K₂SO₄) e para micronutrientes, 0,4; 0,67; 0,78; 1,83; 0,08 e 2 mg dm⁻³, respectivamente para B (H₃BO₃), Cu (CuCl₂.2H₂O), Fe (FeCl₃.6H₂O), Mn (MnCl₂.4H₂O), Mo ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O) e Zn (ZnCl₂).

Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial $2 \times [3 (3 + 1 + 1) + 1]$, sendo dois níveis de P no solo (baixo e médio); três fontes de P (fosfato natural de Bayóvar, fosfato natural de Araxá e superfosfato triplo), na dose 300 mg dm^{-3} de P; três doses de N- NH_4^+ (0, 70 e 140 mg dm^{-3} de N), uma dose 70 mg dm^{-3} de N- NH_4^+ com DCD, uma dose de 70 mg dm^{-3} de N- NO_3^- e um controle, sem aplicação de P e N. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de dois rizotubos. Os fertilizantes fosfatados e nitrogenados foram misturados previamente à aplicação e o solo homogeneizado após a mesma.

O ensaio foi conduzido em câmara de crescimento, com fotoperíodo de 12 h, temperatura de $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e radiância de $130 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A planta utilizada foi o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke).

As plantas cresceram em rizotubos, estes são tubos cilíndricos de policloreto de vinila clorado (CPVC) com 1,16 cm de diâmetro e 15,12 cm de comprimento, fixados em uma placa de policloreto de vinila (PVC) para que ficassem suspensos. Cada rizotubo foi preenchido com 10 cm^3 de solo de cada tratamento. Na extremidade inferior dos rizotubos colou-se uma tela de nylon 0,20 mm, a fim de conter o solo. Rizotubos sem plantas foram usados como controle. Foi conduzida uma plântula previamente germinada em cada rizotubo, durante 46 d.

2.3. Avaliação do experimento

Após 46 d do transplântio das mudas foi realizada a coleta das plantas, separando-se parte aérea e raiz. O material vegetal foi seco a $65 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h, pesado e moído para determinação dos teores de N por meio do método Kjeldahl.

Após foi realizado a digestão nítrico-perclórica (4:1 v/v), Ca e Mg foram determinados em absorção atômica e P por colorimetria (Braga e Defelipo, 1974). O conteúdo de P foi obtido pelo produto entre matéria seca e teor.

Para cálculo da taxa de recuperação de P foi utilizado à seguinte fórmula:

$$TR = [(Conteúdo P)/(Quantidade de P)]*100$$

Sendo:

Conteúdo P: somatório do conteúdo de P na planta;

Quantidade de P: quantidade de P adicionada na forma de fertilizante (300 mg dm⁻³ de P).

Para cálculo da densidade de raiz foi utilizado à seguinte fórmula:

$$\text{Densidade de raiz} = [(\text{massa de raiz})/(\text{volume de solo})]$$

Sendo:

Massa de raiz: massa do sistema radicular (g);

Volume de solo: volume de solo (dm³).

2.4. Análise estatística

Inicialmente, verificou-se a normalidade dos erros e a homogeneidade de variância. Para os dados em desconformidade, realizou-se a transformação segundo Box & Cox (1964). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos globais das fontes de P e de cada combinação de N dentro de cada fonte de P foram avaliados pelo teste de Tukey a 5 % de significância com auxílio do Statistical Analysis System (SAS, 2002).

3. RESULTADOS

3.1. Produção de matéria seca

A adição de P aumentou a produção de matéria seca, porém não houve diferença entre as fontes desse nutriente, exceto para a produção de matéria seca de raiz em P_{baixo} , em que a utilização de FN Araxá resultou em valor inferior ao do ST e FN Bayóvar (Quadro 2). A presença do N combinado com as fontes fosfatadas propiciou maior produção de matéria seca (Figura 1).

No solo com baixa disponibilidade de P, houve influência das fontes nitrogenadas combinadas com o FN de Araxá na produção de matéria seca de parte aérea, onde se observou diferença da maior dose de nitrogênio amoniacal e do $N-NH_4^+$ com inibidor (269,0 e 266,7 mg/rizotubo, respectivamente) em relação à fonte nítrica (239,1 mg/rizotubo) (Figura 1 a). Para FN Bayóvar, apenas as combinações com fontes amoniacaais, com média de 264,1 mg/rizotubo, diferiram da ausência de N (143,4 mg/rizotubo). Para ST, sobressaiu a maior dose de $N-NH_4^+$, 299,0 mg/rizotubo, que não diferiu da de $N-NH_4^+$ com inibidor (262,8 mg/rizotubo).

Na produção de matéria seca de raiz em P_{baixo} , para FN Araxá, a combinação com a maior dose amoniacal e o $N-NH_4^+$ na presença do inibidor (149,7 e 133,4 mg/rizotubo, respectivamente) proporcionou diferença significativa em relação à ausência de N (82,1 mg/rizotubo) (Figura 1 b). Para FN Bayóvar (P_{baixo}), a maior dose de $N-NH_4^+$ não diferiu da ausência de N; e para ST, as fontes amoniacaais, com média de 143,8 mg/rizotubo, diferiram da ausência de N (95,7 mg/rizotubo) (Figura 1 b).

Em $P_{médio}$, todas as combinações das fontes de P e N proporcionaram maior produção de matéria seca de parte aérea em relação ao controle, sem N (Figura 1 c).

No tocante à produção de matéria seca na parte aérea, apenas ST combinado com a maior dose amoniacal (313,0 mg/rizotubo) diferiu da combinação com N-NH_4^+ e inibidor (235,4 mg/rizotubo). Na produção de matéria seca de raiz em $\text{P}_{\text{médio}}$, algumas combinações não diferiram do controle, sendo elas: FN Araxá com qualquer fonte de N e FN Bayóvar combinado com N-NH_4^+ . Para ST, apenas a combinação com N-NH_4^+ e inibidor diferiu da ausência de N (Figura 1 d).

Quadro 2. Produção média de matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) do milho, após 46 d de cultivo em rizotubos, considerando o nível de P no solo e a fonte de P (média para dose e fonte de N)

Nível de $\text{P}_{\text{inicial}}$	Fonte de P	MSPA	MSR
----- mg/rizotubo -----			
Baixo	Controle	51,8 b	51,6 c
	Araxá	191,7 a	116,8 b
	Bayóvar	234,9 a	129,2 a
	ST	237,4 a	128,1 a
Médio	Controle	128,3 b	102,9 b
	Araxá	222,2 a	136,4 a
	Bayóvar	228,4 a	134,1 a
	ST	236,4 a	145,1 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna, dentro dos níveis iniciais de P, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 3. Densidade de raiz após 46 d de cultivo do milho em rizotubos, considerando o nível de P no solo e fontes combinadas de P e N

Nível P _{inicial}	Fonte de P	N (mg dm ⁻³)				
			N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
		0	70	140	70 _{DCD}	70
----- Densidade de raiz (g dm ⁻³) -----						
Baixo	Controle	5,16				
	Araxá	8,21 c	11,36 abc	14,97 a	13,34 ab	10,54 bc
	Bayóvar	7,91 b	17,59 a	13,19 ab	12,27 a	13,65 a
	ST	9,57 b	14,67 a	14,66 a	13,81 a	11,34 ab
Médio	Controle	10,29				
	Araxá	10,70 b	12,90 ab	15,67 a	15,60 a	13,32 ab
	Bayóvar	9,66 b	12,72 ab	14,93 a	14,83 a	14,89 a
	ST	10,46 b	15,11 ab	13,60 ab	18,28 a	15,10 ab

Médias seguidas de letras iguais na linha, dentro de cada nível e fonte de P, não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

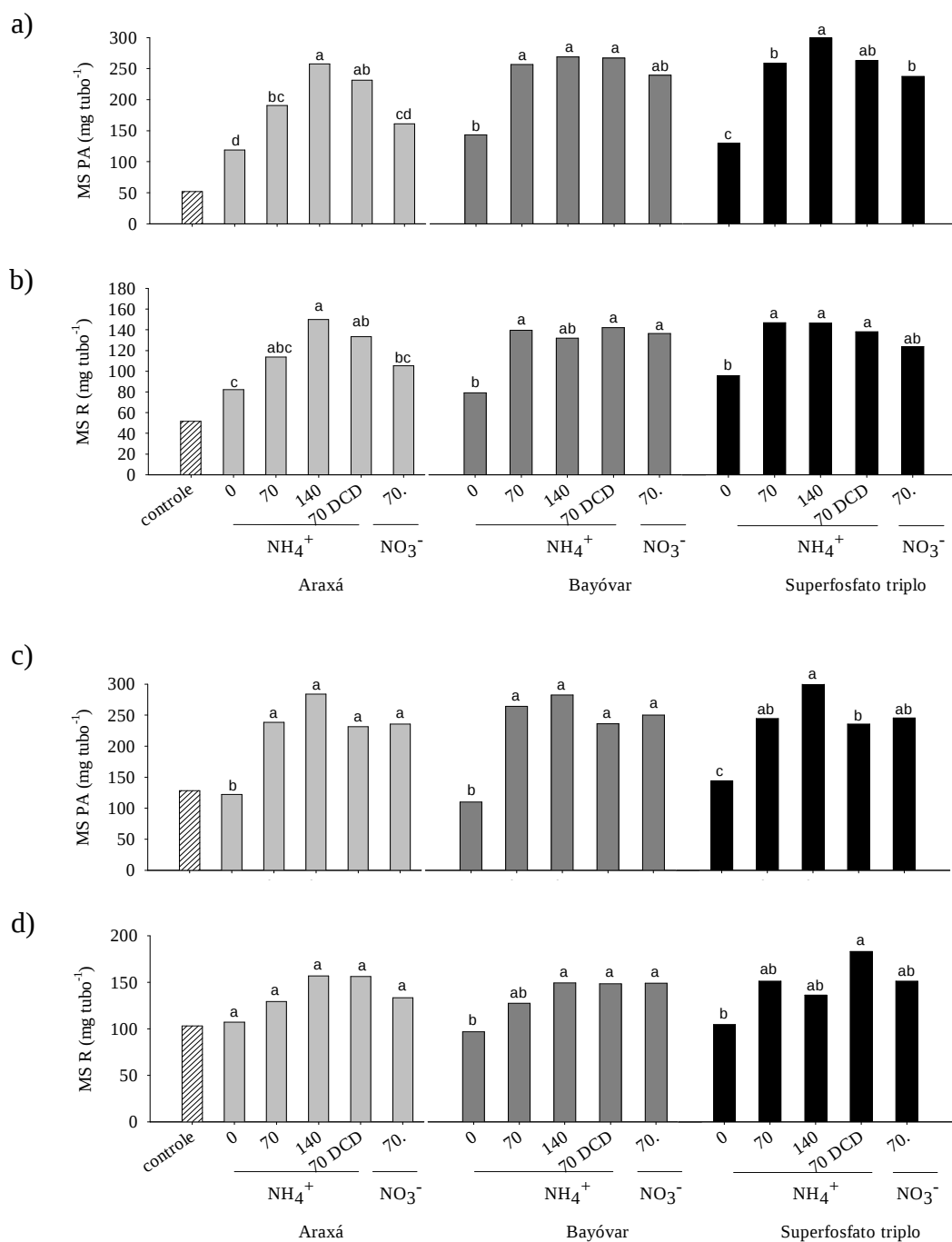


Figura 1. a) Produção de matéria seca de parte aérea (MSPA) e b) matéria seca de raízes (MSR) devido à aplicação combinada de N e P em um Latossolo de baixa disponibilidade de P-P_{baixo}; c) MSPA; e d) MSR devido à aplicação combinada de N e P num Latossolo de média disponibilidade de P-P_{médio}. Médias seguidas de letras iguais dentro da fonte de P não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % e comparam a fonte e dose de N.

Os valores de densidade de raiz foram superiores em $P_{\text{médio}}$ (12,96 g dm⁻³), em comparação a P_{baixo} (10,64 g dm⁻³). Em solo com baixa disponibilidade de P, observa-se que os valores de densidade de raiz, quando fornecido FN Bayóvar (12,92 g dm⁻³), foram iguais aos do ST (12,81 g dm⁻³), sendo estes superiores aos de FN Araxá (11,68 g dm⁻³). Em solo com média disponibilidade de P, não houve diferença nos valores de densidade de raiz em relação à fonte de P fornecida. Em P_{baixo} e em $P_{\text{médio}}$, notou-se superioridade das fontes de P em relação ao controle.

Para FN Araxá em solo com baixa disponibilidade de P, houve maior densidade de raiz quando a fonte de P foi combinada com $N-NH_4^+$ na maior dose e com $N-NH_4^+$ na presença do inibidor, que diferiram do controle. No entanto, a fonte amoniacal na presença do inibidor não diferiu da fonte amoniacal e da fonte nítrica. Em $P_{\text{médio}}$, também se verificou que apenas $N-NH_4^+$ na maior dose e $N-NH_4^+$ na presença do inibidor diferem do controle, apesar de ambas não diferirem das outras doses e fontes de N (Quadro 3).

No fornecimento de FN Bayóvar em P_{baixo} , verificou-se superioridade de densidade de raiz na combinação com $N-NH_4^+$ na maior dose e com $N-NH_4^+$ na presença do inibidor, que diferem do controle, porém não diferem das outras doses e fontes de N. Em $P_{\text{médio}}$, as combinações com a fonte $N-NH_4^+$ na maior dose, $N-NH_4^+$ na presença do inibidor e nítrica não diferem entre si e são superiores às do controle (Quadro 3).

Para ST em P_{baixo} , observou-se superioridade dos valores de densidade de raiz quando houve combinação com as fontes amoniacais, independentemente da dose ou da presença de inibidor. Em solo com média disponibilidade de P obteve-se o maior valor de densidade de raiz na combinação com $N-NH_4^+$ na presença do inibidor; as demais não diferiram do controle (Quadro 3).

3.2. Conteúdo de P

A fonte solúvel de P (ST) propiciou maior conteúdo desse nutriente na parte aérea e raiz do milho (Figura 2). Contudo, quando o solo apresentou média disponibilidade de P, não houve diferença estatística no conteúdo de P de raiz quando se aplicou o ST ou FN Bayóvar. As plantas de milho cultivadas com o FN Araxá apresentaram menor conteúdo de P na parte aérea e raiz, em relação à fonte solúvel (ST) ou sedimentar (FN Bayóvar).

Em P_{baixo} , o conteúdo de P na parte aérea superou em 38,7, 17,4 e 5 vezes o controle quando se aplicou ST, FN Bayóvar e FN Araxá, respectivamente. Já para o conteúdo de P na raiz, observou-se superioridade de 12,2, 7,9 e 3,8 para a mesma ordem supracitada. Em solo com média disponibilidade de P, o conteúdo desse nutriente na parte aérea superou em 5,1, 2,6 e 1,3 e, na raiz, em 2,7, 2,2 e 1,6 o controle, para ST, FN Bayóvar e FN Araxá, respectivamente.

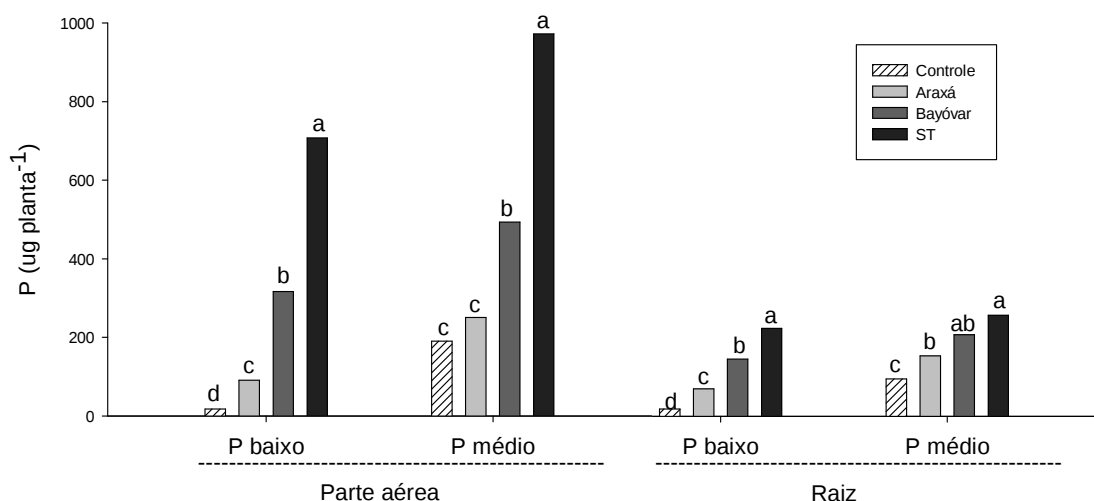


Figura 2. Conteúdo de P na parte aérea e raiz após 46 d da aplicação de fosfatos (média para dose e fonte de N) nos rizotubos para cultivo do milho. Médias seguidas de letras iguais dentro dos níveis iniciais de P não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

Considerando o conteúdo total de P, observou-se superioridade em relação ao controle de 25,4, 12,6 e 4,4 vezes em P_{baixo} e de 4,3, 2,4 e 1,4 em $P_{\text{médio}}$, para ST, FN Bayóvar e FN Araxá, respectivamente. A eficiência de absorção de P dos FNs foi superior no solo com média disponibilidade desse nutriente ($P_{\text{médio}}$). Em comparação ao ST, nota-se que em $P_{\text{médio}}$ há aumento da eficiência de absorção de P de 16,1 e 6,7 % para FN Araxá e FN Bayóvar, respectivamente, em relação aos mesmos comparados com o ST em P_{baixo} .

As fontes de P ou N afetaram o acúmulo desses nutrientes na parte aérea e raiz do milho (Quadro 4). Para FN Bayóvar em $P_{\text{médio}}$, o conteúdo de P foi maior quando a fonte de P foi combinada com a fonte de nitrogênio amoniacal. Para ST, verificaram-se diferenças significativas no conteúdo de P na parte aérea em P_{baixo} , onde a combinação com a fonte amoniacal propiciou maior acúmulo de P e N em relação ao controle e à fonte nítrica. Para esta mesma fonte em P_{baixo} , o acúmulo de N na parte aérea foi maior quando houve combinação com a maior dose de N-NH_4^+ (140 mg dm^{-3}); a presença do DCD não alterou o acúmulo de P ou N na parte aérea do milho (Quadro 4).

Em geral, a presença do N proporcionou maior conteúdo de P na raiz em P_{baixo} . O efeito da combinação das fontes de P e N alterou de forma mais intensa o acúmulo desses nutrientes no sistema radicular do milho em solo com baixa disponibilidade de P (Quadro 4). Para o FN Araxá, o maior acúmulo foi observado na combinação com a maior dose de N-NH_4^+ (140 mg dm^{-3}), porém não diferiu estatisticamente das demais doses ou forma de N. Quanto ao ST, a presença do inibidor (DCD) favoreceu maior acúmulo de P na raiz. Em $P_{\text{médio}}$ não houve diferença no conteúdo de P na raiz para as fontes de P combinadas com N (Quadro 4).

Quadro 4. Conteúdo de P e N após 46 d de cultivo do milho em rizotubos, considerando nível de P no solo e fontes combinadas de P e N

Nível P _{inicial}	Fonte de P	N (mg dm ⁻³)				
			N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
		0	70	140	70 _{DCD}	70
----- Conteúdo de P na parte aérea (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	18,27				
	Araxá	71,12 a	81,35 a	119,90 a	101,57 a	84,03 a
	Bayóvar	416,36 a	331,25 a	227,51 a	352,57 a	259,39 a
	ST	654,01 ab	771,12 a	789,89 a	839,19 a	482,64 b
Médio	Controle	190,96				
	Araxá	232,40 a	262,64 a	226,32 a	304,59 a	226,70 a
	Bayóvar	391,50 b	535,90 ab	493,51 ab	637,10 a	408,82 b
	ST	749,96 a	1145,39 a	1094,58 a	1118,85 a	752,26 a
----- Conteúdo de P na raiz (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	18,42				
	Araxá	35,26 b	71,23 ab	107,03 a	67,83 ab	69,64 ab
	Bayóvar	89,07 b	188,53 a	149,28 ab	158,80 ab	146,35 ab
	ST	144,90 c	239,16 ab	240,86 ab	315,12 a	179,18 bc
Médio	Controle	95,82				
	Araxá	138,67 a	135,17 a	189,88 a	165,94 a	138,53 a
	Bayóvar	156,34 a	161,44 a	241,76 a	250,37 a	227,31 a
	ST	173,78 a	308,08 a	244,55 a	288,07 a	271,83 a
----- Conteúdo de N na parte aérea (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	68,81				
	Bayóvar	606,35 a	960,40 a	1307,49 a	1161,99 a	987,02 a
	ST	601,06 c	1161,09 b	1602,47 a	1188,99 b	1093,79 b
Médio	Controle	446,24				
	Bayóvar	411,82 b	1217,93 a	1401,76 a	1168,92 a	1233,66 a
	ST	648,96 c	1348,05 ab	2008,53 a	1357,34 ab	1159,58 bc
----- Conteúdo de N na raiz (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	337,74				
	Bayóvar	536,62	701,15	1319,44	696,62	589,9
	ST	503,79	841,63	1001,87	989,8	863,61
Médio	Controle	731,24				
	Bayóvar	532,54	718,18	871,75	1065,64	1078,64
	ST	535,9	1096,26	1081,45	1119,23	1101,21

Médias seguidas de letras iguais na linha, dentro de cada nível e fonte de P, não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

A taxa de recuperação (TR) de P pelo milho foi influenciada pelo nível desse nutriente no solo e pelas fontes de P e N aplicadas de forma combinada, sendo

maior para ST, seguido de FN Bayóvar e Araxá (Quadro 4). Com o aumento da disponibilidade de P no solo, observou-se maior TR de P, independentemente da fonte de P aplicada.

Em P_{baixo} , a combinação do FN de Araxá com o $N-NH_4^+$ aumentou a TR de P, principalmente para a maior dose de $N-NH_4^+$ (140 mg dm^{-3}) ou com a fonte amoniacal e o inibidor DCD, porém com valores ainda considerados baixos (7,5 e 5,6 %, respectivamente). Na ausência de N, a TR de P do FN Araxá foi de apenas 3,6 % em P_{baixo} . Em $P_{\text{médio}}$, não houve efeito da adição de N na TR de P do FN de Araxá e a média foi de 13,5 % (Quadro 4).

Para o FN de Bayóvar, em P_{baixo} , a TR de P média foi de 15,5 %, não havendo efeito da adição do N. Já em $P_{\text{médio}}$, a fonte amoniacal aumentou a TR de P, sendo de 29,6 % na presença do DCD, porém não diferiu das demais doses de $N-NH_4^+$, sendo, em média, de 25,7 % (Quadro 4).

Para o ST, em P_{baixo} , a TR de P foi maior com a fonte amoniacal e inibidor, sendo de 38,5 % na presença do DCD; contudo, não diferiu das demais doses de $N-NH_4^+$, sendo, em média, de 35,5 %. Em $P_{\text{médio}}$, não houve efeito da adição de N nos valores de TR de P do ST e a média foi de 41,0 % (Quadro 4).

Quadro 4. Taxa de recuperação de P pelo milho após 46 d de cultivo em rizotubos, considerando nível de P no solo e fontes combinadas de P e N

Nível P _{inicial}	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
		----- % -----				
Baixo	Araxá	3,55 c	5,09 bc	7,56 a	5,65 ab	5,12 bc
	Bayóvar	16,85 a	17,33 a	12,56 a	17,05 a	13,52 a
	ST	26,63 bc	33,68 ab	34,36 ab	38,48 a	22,06 c
Médio	Araxá	12,37 a	13,26 a	13,87 a	15,68 a	12,17 a
	Bayóvar	18,26 b	23,24 ab	24,51 ab	29,58 a	21,20 b
	ST	30,79 a	48,45 a	44,64 a	46,90 a	34,14 a

Médias seguidas de letras iguais na linha, dentro de cada nível e fonte de P, não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

4. DISCUSSÃO

A combinação das fontes de P com N favoreceu a produção de matéria seca do milho, tanto em solo com baixa quanto com média disponibilidade de P. Efeitos expressivos foram observados na parte aérea quando houve combinação das fontes de P com N-NH₄⁺ e inibidor DCD em solo com baixa disponibilidade de P. Nesse mesmo nível de disponibilidade de P, a aplicação da fonte solúvel combinada com N-NH₄⁺ resultou em maior conteúdo desse nutriente em comparação a N-NO₃⁻. Essa resposta pode ser devido ao efeito de absorção preferencial de fosfato quando a planta é suprida com N-NH₄⁺. Em *Arabidopsis*, a acumulação de P_i aumentou com a diminuição do fornecimento de NO₃⁻, mostrando interação genética antagonista de P_i com nitrato, mas não com amônio (Kant et al., 2011). Ortas et al. (1996), trabalhando com sorgo em solos com pH mais elevado, verificaram aumento na biomassa total com o fornecimento de N-NH₄⁺. Maiores conteúdos de P também foram encontrados por Wang et al. (2011) devido à combinação de fonte fosfatada e N-NH₄⁺.

Zeng et al. (2012) sugeriram que a absorção de P foi estimulada em plantas de arroz supridas com NH_4^+ em razão da maior atividade da H^+ -ATPase na membrana plasmática das células radiculares. Nesse mesmo trabalho, em solução nutritiva, o conteúdo de P em raiz e parte aérea das plantas supridas com NH_4^+ foi significativamente maior do que o teor de P nas plantas cultivadas com NO_3^- .

Por outro lado, o efeito benéfico da absorção de fosfato quando combinado com N-NH_4^+ , na produção de matéria seca e/ou aumento do conteúdo de P, pode ser parcialmente reduzido devido à fitotoxicidade causada pelo fornecimento de N-NH_4^+ ou presença de Al^{3+} (Kronzucker et al., 1997; Gweyi-Onyango et al., 2005), sendo isso possível em razão do abaixamento de pH do solo causado pelo fornecimento da fonte amoniacal (Hinsinger, 2001) em um solo oxidico.

Em solo com média disponibilidade de P, não houve diferença na produção de matéria seca devido ao fornecimento de N-NH_4^+ ou N-NO_3^- . Apenas FN Bayóvar combinado com N-NH_4^+ e inibidor apresentou maior conteúdo de P na parte aérea em relação a N-NO_3^- ; para ST, ocorreu essa mesma tendência. Provavelmente, esse fato ocorreu em decorrência da dinâmica de solubilização dos P-minerais em relação ao pH, onde há favorecimento da solubilização e disponibilidade do P-Ca sob menores valores de pH e do P-óxidos sob maiores valores de pH (Lindsay et al., 1989).

O maior conteúdo de P observado no milho fertilizado com ST reflete a maior disponibilidade de P no solo proporcionada pela fonte solúvel em relação aos FNs. Apesar de melhores resultados dos FNs em solo com disponibilidade média de P, sob certas condições, como baixa reatividade do FN, alto pH do solo ou crescimento de culturas de ciclo curto, o uso agrônomico de FNs pode não ser tão viável como a de fontes solúveis (Chien & Menon, 1995 b).

Entre os FNs, o conteúdo de P foi muito dependente das características químicas e mineralógicas da fonte (Perez et al., 2007), observando-se maiores conteúdos de P quando utilizada a fonte sedimentar (FN Bayóvar) em relação à ígnea (FN Araxá), independentemente do teor de P do solo. Notou-se aumento de eficiência de absorção de P dos FNs em relação ao ST em solo com média disponibilidade de P, notadamente o FN Bayóvar, quando combinado com N-NH_4^+ . Isso porque, em solo com média disponibilidade de P, há favorecimento da utilização desse nutriente anteriormente presente no solo no crescimento inicial, possivelmente afetando o desenvolvimento radicular e alterando a eficiência de aquisição de P (Lambers et al., 2006).

Prochnow et al. (2004) verificaram que a produção de matéria seca do trigo ou azevém foi semelhante quando utilizado FN Patos combinado com superfosfato simples (50 % de cada fonte), em relação ao superfosfato simples. Esse fato deve-se ao melhor desenvolvimento do sistema radicular da planta, que permitiu maior eficiência agrônômica na utilização do FN. Chien et al. (2010) encontraram resultados positivos da combinação de fontes solúveis e FNs no fornecimento de P.

Entre as fontes de P, observaram-se maiores valores de densidade de raiz quando fornecido FN Bayóvar ou ST em P_{baixo} e ST, FN Bayóvar ou FN Araxá em $P_{\text{médio}}$. Mollier & Pellerin (1999) relataram a dificuldade de comparação de resultados na ausência de estudos detalhados sobre o padrão de ramificação. Também concluíram que o aumento ou a diminuição no crescimento do sistema radicular devido à deficiência de P depende da escala de tempo do experimento, sendo encontrado aumento no crescimento radicular em experimentos curtos e diminuição em experimentos longos. Alguns autores relataram aumento do número de raízes laterais com a adição de P (Amijee et al., 1989, *in alho*; Bruce et al., 1994,

em pepino; Horst et al., 1996, em trigo). É importante observar que o sistema radicular, ao entrar em contato com o ar no limite inferior do rizotubo, pode ter limitado o desenvolvimento do meristema apical e estimulado o crescimento de raízes laterais.

Em geral, os maiores valores de densidade de raiz foram encontrados quando as fontes fosfatadas foram combinadas com N-NH_4^+ . Zhang & Forde (1998) observaram aumento de 300 % no crescimento das raízes laterais de *Arabidopsis* quando reduziram a concentração de NO_3^- de 1 para $0,01\text{mmol L}^{-1}$. Jing et al. (2010), trabalhando em solo calcário, mostraram que a aplicação localizada de P combinado com amônio melhorou significativamente o crescimento do milho e a utilização de nutrientes nas fases iniciais, estimulando a proliferação de raízes e acidificação da rizosfera.

Deve-se atentar para a importância do efeito residual dos FNs na eficiência agronômica relativa em relação às fontes solúveis (Chien et al., 2009) em cultivos sucessivos ou perenes. Em algumas situações, pode ser economicamente viável e sustentável a aplicação de FNs, principalmente devido à elevada capacidade de adsorção específica de P dos solos brasileiros (Novais et al., 2007). São necessários mais estudos para compreensão dos efeitos da combinação de fontes fosfatadas e nitrogenadas em solos intemperizados agricultáveis, a fim de melhorar a eficiência de aquisição e uso do P (Veneklaas et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

1. A adição de N em fosfatos naturais aumenta a eficiência de absorção de P da fonte.
2. A combinação com a fonte amoniacal proporciona maior absorção de P.
3. Em solo com média disponibilidade de P, os fosfatos naturais permitem maior eficiência de absorção desse nutriente.
4. A fonte solúvel de P proporciona maior acúmulo de P no milheto, seguido do FN Bayóvar e do Araxá.

6. REFERÊNCIAS

- AMIJEE, F; TINKER, P. B. & STRIBLEY, D. P. Effects of phosphorus on morphology of VA mycorrhizal root system of leek (*Allium porrum* L.). Plant Soil, 119:334-336, 1989.
- BOLAN, N. S. & HEDLEY, M. J. Dissolution of phosphate rocks in soils. 2. Effect of pH on dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. Fert. Res., 24:125-134, 1990.
- BOX, G. E. P. & COX, D. R. Analysis of transformations (with discussion). Journal of the Royal Statistics Society, Brighton., 26:211-252, 1964.
- BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e planta. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- BRUCE, A; SMITH, S.E. & TESTER, M. The development of mycorrhizal infection in cucumber: effects of P supply root growth, formation of entry points and growth of infection units. New Phytol., 127:507-514, 1994.
- CHIEN, S. H. & MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. Nutr. Cycl. Agroecos., 41:227-234, 1995 a.
- CHIEN, S. H. & MENON, R. G. Agronomic evaluation of modified phosphate rock products: IFDC's Experience. Fertil. Res., 41:197-209, 1995 b.
- CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I. & CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. Adv. Agron., 102:261-316, 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. *Nutr. Cycl. Agroecos.*, 89:229-255, 2011.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J. & WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environ. Change*, 19:292-305, 2009.
- DAKORA, F. D. & PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant Soil*, 245:35-47, 2002.
- DI, H. J. & CAMERON, K. C. Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. *Aust. J. Soil Res.*, 42:927-932, 2004.
- DING, X.; FU, L.; LIU, C.; CHEN, F.; HOFFLAND, E.; SHEN, J.; ZHANG, F. & FENG, G. Positive feedback between acidification and organic phosphate mineralization in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.). *Plant Soil*, 349:13-24, 2011.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2 ed. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- GWEYI-ONYANGO, J. P., NEUMANN, G. & RÖMHELD, V. The role of nitrogen forms on solubilisation and utilisation of rock phosphate by tomato plants. *African Crop Science Conference Proceedings*, 7:1029-1032, 2005.
- HINSINGER, P. & GILKES, R. J. Mobilization of phosphate from phosphate rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. *Eur. J. Soil Sci.*, 47:533-544, 1996.

- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, 237:173-195, 2001.
- HOFFMANN, C.; LADEWIG, E.; CLAASSEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus uptake of maize as affected by ammonium and nitrate nitrogen-Measurements and model calculations. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 157: 225-232, 1994.
- HORST, W.J.; ABDON, M. & WIESLSER, F. Difference between wheat cultivars in acquisition and utilization of phosphorus. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 159:155-161, 1996.
- JING, J.; RUI, Y.; ZHANG, F.; RENGEL, Z. & SHEN, J. Localized application of phosphorus and ammonium improves growth of maize seedlings by stimulating root proliferation and rhizosphere acidification. *Field Crops Research*, 119:355-364, 2010.
- KANT, S.; PENG, M. & ROTHSTEIN, S. J. Genetic regulation by NLA and microRNA827 for maintaining nitrate-dependent phosphate homeostasis in *Arabidopsis*. *PLoS genetics*, 7:e1002021, 2011.
- KEMPERS, A. J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate methods. *Commun. in Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723. 1986.
- KRONZUCKER, H. J.; SIDDIQI, M. Y. & GLASS, A. D. M. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. *Nature*, 385:59-61, 1997.
- LAMBERS, H.; SHANE, M. W.; CRAMER, M. D.; PEARSE, S. J. & VENEKLAAS, E. J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. *Annals of Botany*, 98:693-713, 2006.

- LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G. & CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. Minerals in soil environment. 2. ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, 1989. p. 1089-1130.
- MARCELINO, R. Inibidor de nitrificação em fertilizantes nitrogenados e rendimento de milho. Campinas, SP: Instituto, 2009. 98 p. (Tese de Mestrado).
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. J. Exp. Bot., 333:487-497, 1999.
- MOREL, C. & HINSINGER, P. Root-induced modifications of the exchange of phosphate ion between soil solution and soil solid phase. Plant Soil, 211:103-110, 1999.
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. & NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.
- ORTAS, I.; HARRIS, P. J. & ROWELL, D. L. Enhanced uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plants as influenced by forms of nitrogen. Plant Soil, 184:255-264, 1996.
- PARFITT R. L. The availability of P from phosphate-goethite bridging complexes, desorption and uptake by ryegrass. Plant Soil, 53:55-65, 1979.

- PEREZ, M. J.; SMYTH, T. J. & ISRAEL, D. W. Comparative effects of two forage species on rhizosphere acidification and solubilization of phosphate rocks of different reactivity. *J. Plant Nutr.*, 30:1421-1439, 2007.
- PROCHNOW, L. I.; CHIEN, S. H.; CARMONA, G. & HENAO, J. Greenhouse evaluation of two phosphorus sources produced from a Brazilian phosphate rock. *Agron. J.*, 96:761-768, 2004.
- RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A. & SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 14:547-566, 1986.
- RAIJ, B. VAN. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.
- RUNGE-METZGER, A. Closing the cycle: obstacles to efficient P management for improved global food security. *Scope-Scientific Committee on Problems of the Environment International Council of Scientific Unions*, 54:27-42, 1995.
- SARKAR, A. N. & WYN JONES, R. G. Influence of rhizosphere on the nutrient status of dwarf French beans. *Plant Soil*, 64:369-380, 1982.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). Software and services: system for Windows, version 8.0: software. Cary, 2002.
- SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J. & AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiol.*, 116:447-453, 1998.
- VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C. & ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a non renewable resource. *New Phytol.*, 157:423-427, 2003.
- VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; BRAGG, J.; FINNEGAN, P. M.; LOVELOCK, C. E.; PLAXTON, W. C.; PRICE, C. A.; SCHEIBLE, W.-R.;

- SHANE, M. W.; WHITE, P. J. & RAVEN, J. A. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytol.*, 195:306-320, 2012.
- VON UEXKÜLL, H. R., & MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant soil*, 171:1-15, 1995.
- WANG, X.; GUPPY, C. N.; WATSON, L.; SALE, P. W. & TANG, C. Availability of sparingly soluble phosphorus sources to cotton (*Gossypium hirsutum* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and white lupin (*Lupinus albus* L.) with different forms of nitrogen as evaluated by a ^{32}P isotopic dilution technique. *Plant soil*, 348:85-98, 2011.
- YANG, J. E.; SLOGLEY, E. O.; SCHAFF, B. E. & KIM, J. J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. *Soil Sci. Am. J.*, 62:1108-1115, 1998.
- ZHANG, H. M.; FORDE, B. G. An arabidopsis mads box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science*, 279:407-409, 1998.
- ZENG, H.; LIU, G.; KINOSHITA, T.; ZHANG, R.; ZHU, Y.; SHEN, Q. & XU, G. Stimulation of phosphorus uptake by ammonium nutrition involves plasma membrane H^+ ATPase in rice roots. *Plant soil*, 357:205-214, 2012.

CAPÍTULO 2

ALTERAÇÕES RIZOSFÉRICAS COM A APLICAÇÃO DE FOSFATO NATURAL E NITROGÊNIO

RESUMO

Sabe-se da importância das raízes e das modificações no ambiente rizosférico para o aumento da eficiência de aquisição de P dos fertilizantes fosfatados. A combinação de fertilizantes com poder de acidificação pode favorecer a solubilidade de fosfatos naturais (FNs). Neste trabalho, avaliaram-se as modificações no solo rizosférico devido à aplicação combinada da fonte fosfatada e nitrogenada. Para avaliar as modificações nesse ambiente, plantas de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) foram cultivadas em rizotubos, estrutura cilíndrica oca com a finalidade de aumentar a densidade de raiz, em ambiente de temperatura e luz controlada. Avaliou-se a solubilização de fosfatos naturais e a disponibilidade de P devido à aplicação de fontes de P combinadas com N em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa (P_{baixo}) e média ($P_{\text{médio}}$) disponibilidade de P. Foram utilizados os fosfatos naturais (FNs) de Bayóvar e de Araxá e o superfosfato triplo (ST), combinados com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Rizotubos sem a planta foram mantidos como controle. Após o período de 46 d, as plantas foram coletadas e o solo foi seco e peneirado para determinação de Ca e Mg trocável, NH_4^+ , NO_3^- e P disponível pelo extrator resina aniônica. Os valores de solubilização dos FNs foram calculados. Os resultados mostraram que na ausência da planta houve maior nitrificação em $P_{\text{médio}}$. Ocorreu maior solubilização dos FN na presença de planta em relação à ausência. As combinações que favoreceram a solubilização não necessariamente disponibilizam mais P para a planta. Observou-se que a resposta à adubação fosfatada em combinações com N dependeu dos teores iniciais de P no solo.

CHAPTER 2

RHIZOSPHERIC CHANGES BY ROCK PHOSPHATE AND NITROGEN APPLICATION

ABSTRACT

The essential roles of roots and modifications in the rhizosphere environment to increase the efficiency of P acquisition from phosphate fertilizers are well-known. The combination of fertilizers with acidification power may favor the solubility of phosphate rocks (PRs). This study evaluated changes in the rhizosphere due to the combined application of phosphorus and nitrogen sources. To assess changes in this environment, pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L) Leek) plants were grown in hollow rooting tubes, cylindrical to increase the root density, under controlled temperature and light conditions. The solubilization of rock phosphates was evaluated as well as P availability after the application of P sources combined with N to samples of a Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) with low (P_{low}) and medium (P_{med}) P availability. The Bayóvar and Araxá PR were used and triple superphosphate (TS), combined with $(NH_4)_2SO_4$ and $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Rooting tubes without plants were maintained as controls. After a period of 46 d, the plants were harvested and the soil dried and sieved to determine exchangeable Ca and Mg, NH_4^+ , NO_3^- , and available P by anion resin extraction. The solubilization of PRs was computed, showing that in the absence of plants nitrification was greatest in P_{med} . The solubilization of PRs, was more intense in the presence than in the absence of plants. The combinations that favored solubilization did not necessarily supply the plants with more P. It was observed that the response to phosphate fertilization in combinations with N was related to the initial P contents in the soil.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior consumo de fosfatos naturais *in natura* (IFA, 2013). O principal obstáculo para a aplicação dos FNs está relacionado com suas características químicas, de modo que libere P na solução do solo numa quantidade suficiente para suportar o crescimento da planta (Kpombrekou-A & Tabatabai, 2003). O equilíbrio de precipitação/dissolução que governa a solubilidade de minerais que contêm P é diretamente dependente do pH, da concentração de P e do cátion metálico considerado (Hinsinger, 2001).

Em solos tropicais, a concentração de P na solução geralmente é menor que $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (Novais & Smyth, 1999), em razão da adsorção desse elemento pelos oxi-hidróxidos de Fe e Al, fazendo com que, nessas condições, a habilidade das raízes das plantas para competição eficiente com as partes sólidas do solo, responsáveis pela forte retenção de P, seja possivelmente de importância crucial (Parfitt, 1979; Hinsinger & Gilkes, 1996).

Rizosfera é o volume de solo adjacente às raízes com um ambiente físico, químico e biológico diferente do restante do solo (Bowen & Rovira, 1999). Hinsinger (2001) listou, na seguinte ordem, os principais processos induzidos diretamente pelas raízes capazes de alterar a disponibilidade de P, sendo: (i) atividade de absorção; (ii) processos capazes de alterar o pH, como equilíbrio de absorção cátion/ânion e trocas gasosas (O_2/CO_2); e (iii) liberação de exsudatos como ligantes orgânicos. Ainda, realçou que esses processos e as suas contribuições relativas podem variar consideravelmente com a espécie vegetal, o estado nutricional da planta e as condições ambientais do solo.

A extrusão de H^+ é fortemente regulada pelo equilíbrio cátion/ânion e é, portanto, muito influenciada pela fonte de nitrogênio (Hinsinger, 2001; Dakora & Phillips, 2002; Perez et al., 2007). Hinsinger & Gilkes (1996) mostraram que fornecer NO_3^- ao azevém resultou em pouca acidificação da rizosfera e em dissolução de cerca de 20 % da rocha fosfática da rizosfera, ao passo que ocorreu diminuição acentuada no pH da rizosfera e a dissolução da rocha quase duplicou (38 %) quando foi fornecido NH_4^+ como complemento. Trabalhando com dois cultivares de trigo com distinta eficiência na absorção de P, Xin-Bin et al. (2012) concluíram que uma das principais razões para maior absorção de P pelo cultivar eficiente foi a capacidade de acidificação do solo, que resultou na dissolução de parte do fosfato insolúvel na rizosfera.

Outro processo capaz de alterar o pH do solo é a nitrificação, que pode ocorrer em uma ampla gama de solos ácidos, mesmo a pH em água próximo a 3 (De Bóer & Kowalchuk, 2001), embora a ocorrência e estimulação de nitrificação em solos ácidos permaneça obscura (Zhao et al., 2007).

Alguns trabalhos preveem a diminuição do pH da rizosfera e maior absorção de P com a aplicação de NH_4^+ , enquanto os resultados com aplicação de NO_3^- têm tendência inversa (Sarkar & Wyn Jones, 1982; Hoffman et al., 1994; Kant et al., 2011).

No presente estudo, avaliou-se a solubilização e a disponibilidade de P para o milho devido à aplicação combinada de fosfatos naturais e N em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa e média disponibilidade de P.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e preparo do solo

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo com 63 % de argila, coletado em Viçosa-MG. As características químicas naturais do solo são apresentadas no quadro 1 (Embrapa, 1997).

Inicialmente o solo foi passado na peneira de abertura de 2 mm. A saturação por bases foi calculada para ser elevada a 50 % (Raij, 1981). Aplicou-se de CaCO_3 e MgCO_3 na proporção molar de 3,5:1. O solo foi mantido incubado por 30 d na capacidade de campo. Após esse período o Ca e o Mg trocável foram determinados, atingindo 2,45 e 0,43 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Com a calagem o pH foi de 5,63 e o P, determinado pelo método da resina aniônica (P-resina) (Raij et al., 1986), foi de 0,07 mg dm^{-3} .

Parte do solo usado no ensaio foi incubado com superfosfato triplo (150 mg dm^{-3} de P) por mais 30 d, de modo a atingir um teor médio de P no solo. Após este período foi determinado o Ca e Mg trocável, 2,35 e 0,60 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; o pH, 5,36 e o P-resina, 30,07 mg dm^{-3} . Em sequência, o solo foi seco e novamente passado na peneira com abertura de 2 mm.

Quadro 1. Análise química da amostra de solo utilizada.

Características	Valores	Características	Valores
pH (água) ⁽¹⁾	4,52	T (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁹⁾	5,87
pH (KCl) ⁽¹⁾	4,26	MO (dag kg ⁻¹) ⁽⁷⁾	1,71
P (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	1,20	P remanescente (mg L ⁻¹)	8,10
K (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	7,00	Zn (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	0,56
Na (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	0	Fe (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	39,60
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0,23	Mn (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	5,30
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0,02	Cu (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	0,90
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	1,07	B (mg dm ⁻³) ⁽⁵⁾	0,19
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁴⁾	5,60	S (mg dm ⁻³) ⁽⁶⁾	53,60
t (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁸⁾	1,34		

⁽¹⁾ Relação solo:água de 1:2,5

⁽²⁾ Extrator Mehlich-1

⁽³⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹

⁽⁴⁾ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0

⁽⁵⁾ Extrator água quente

⁽⁶⁾ Extrator fosfato monocalcico em ácido acético

⁽⁷⁾ Mat. Org. - C.Org x 1,723 - Walkley-Black

⁽⁸⁾ t: Capacidade de troca catiônica efetiva

⁽⁹⁾ T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0

2.2. Caracterização das fontes de P e condução do experimento

As fontes de P utilizadas foram o superfosfato triplo (44,0 % P₂O₅), o fosfato natural de Bayóvar (29,8 % P₂O₅ total e 15,6 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2 %) e o fosfato natural de Araxá (30,7 % P₂O₅ total e 4,6 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2 %).

A fonte de N-NH₄⁺ foi o (NH₄)₂SO₄ e de N-NO₃⁻ foi Mg(NO₃)₂.6H₂O. Em alguns tratamentos utilizou-se 9 mg dm⁻³ de dicianodiamida (DCD) como inibidor da nitrificação (Marcelino, 2009; Di & Cameron, 2004). O fornecimento dos demais nutrientes foi realizado diariamente via solução nutritiva, aplicando o mesmo volume para cada rizotubo, evitando a percolação. Ao todo foram aplicados 160 mg dm⁻³ de K e 66 mg dm⁻³ de S (K₂SO₄) e para micronutrientes, 0,4; 0,67; 0,78; 1,83; 0,08 e 2 mg dm⁻³, respectivamente para B (H₃BO₃), Cu (CuCl₂.2H₂O), Fe (FeCl₃.6H₂O), Mn (MnCl₂.4H₂O), Mo ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O) e Zn (ZnCl₂).

Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial $2 \times [3 (3 + 1 + 1) + 1]$, sendo dois níveis de P no solo (baixo e médio); três fontes de P (fosfato natural de Bayóvar, fosfato natural de Araxá e superfosfato triplo), na dose 300 mg dm^{-3} de P; três doses de N- NH_4^+ (0, 70 e 140 mg dm^{-3} de N), uma dose 70 mg dm^{-3} de N- NH_4^+ com DCD, uma dose de 70 mg dm^{-3} de N- NO_3^- e um controle, sem aplicação de P e N. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de duas plantas. Os fertilizantes fosfatados e nitrogenados foram misturados previamente à aplicação e o solo homogeneizado após a mesma.

O ensaio foi conduzido em câmara de crescimento, com fotoperíodo de 12 h, temperatura de $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e radiância de $130 \pm 5 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A planta utilizada foi o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke).

Cada planta cresceu em um rizotubo, estes são tubos cilíndricos de policloreto de vinila clorado (CPVC) com 11,6 mm de diâmetro e 151,2 mm de comprimento, fixados em uma placa de policloreto de vinila (PVC) para que fiquem suspensos. Cada rizotubo foi preenchido com 10 cm^3 de solo de cada tratamento. Na extremidade inferior dos rizotubos colou-se uma tela de nylon 0,20 mm, a fim de conter o solo. Rizotubos sem plantas foram usados como controle. Foi conduzida uma plântula previamente germinada em cada rizotubo, durante 46 d.

2.3. Avaliação do experimento

No solo do tempo inicial, ou seja, aquele encontrado antes das plântulas serem transplantadas (T_0), foi determinado pH, Ca e Mg trocável (Embrapa, 1997) e P-resina (Raij et al., 1986).

Após 46 d do transplântio foi realizada a coleta das plantas, separando-se parte aérea e raiz. O material vegetal foi seco a 65 ± 2 °C por 72 h, pesado e moído para determinação dos teores de N por meio da destilação Kjeldahl, Ca e Mg por absorção atômica e P (após digestão nítrico-perclórica - 4:1 v/v) por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974).

O solo contido nos rizotubos foi coletado, seco e peneirado para realização de análises químicas, sendo elas: pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} (Embrapa, 1997), NH_4^+ (Kempers & Zweepers, 1986), NO_3^- (Yang et al., 1998) e P-resina (Raij et al., 1986). A solubilização do fosfato natural foi avaliada por meio da determinação do Ca no solo e nas plantas (adaptado de Bolan & Hedley, 1990).

$$\text{Solubilização do FN} = \Delta\text{Ca} = [(\text{Ca}_{T46} + \text{Ca}_{\text{planta}}) - \text{Ca}_{T0}]$$

Sendo:

Ca_{T46} : massa de Ca no volume de solo utilizado no final de 46 d de cultivo do milho (mg/rizotubo);

$\text{Ca}_{\text{planta}}$: conteúdo de Ca na planta no final de 46 d de cultivo do milho (mg/planta);

Ca_{T0} : massa de Ca no volume de solos utilizado no T_0 (mg/rizotubo).

2.4. Análise estatística

Inicialmente, verificou-se a normalidade dos erros e a homogeneidade de variância. Para os dados em desconformidade, realizou-se a transformação segundo

Box & Cox (1964). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos globais das fontes de P e de cada combinação de N dentro de cada fonte de P foram avaliados pelo teste de Tukey a 5 % de significância com auxílio do sistema SAS (2002).

3. RESULTADOS

3.1. ΔCa

Verificou-se contribuição do “dreno planta” na utilização da fonte de P e solubilização dos FNs. Na presença de planta, a solubilização do FN Bayóvar foi 2,35 e 2,11 vezes maior do que na ausência da planta, para P_{baixo} e $P_{\text{médio}}$, respectivamente. Para FN Araxá observou-se relação de 9,39 e 2,25 no aumento da solubilização devido à presença de planta, para P_{baixo} e $P_{\text{médio}}$, respectivamente.

Os valores de ΔCa de acordo com a combinação com N, na presença e ausência de planta, podem ser analisados no quadro 2. Na presença de planta, as combinações de FN Araxá com N-NH_4^+ na maior dose e N-NH_4^+ com inibidor proporcionaram maior solubilização em P_{baixo} , diferenciando da ausência de N. Para FN Bayóvar, as combinações com a fonte amoniacal sem inibidor e com inibidor diferenciaram da ausência de N (Quadro 2).

Na presença de planta e em solo com média disponibilidade de P, onde havia um pH inicial menor, as combinações que levaram à maior solubilização do FN Araxá foram N-NO_3^- e N-NH_4^+ na maior dose, sendo que apenas aquela diferiu da ausência de N e das demais formas de N-NH_4^+ . Para FN Bayóvar, não se percebeu diferença de solubilização com as fontes de N adicionadas (Quadro 2).

Na ausência de planta, em solo com baixa disponibilidade de P, não houve diferença de solubilização do FN Araxá quando combinado com as fontes nitrogenadas. Nessa mesma condição, a combinação com a fonte amoniacal proporcionou maior solubilização do FN Bayóvar em relação à combinação com N-NH_4^+ na maior dose ou com inibidor, porém não diferiu da combinação com NO_3^- e da ausência de N (Quadro 2).

Quadro 2. Δ Ca em solo com presença e ausência de planta, de acordo com a fonte de N combinada com os FNs

P_{inicial}	Fonte	N	N (mg dm^{-3})	Δ Ca	
				Com planta	Sem planta
Baixo	Araxá	$N\text{-NH}_4^+$	0	-0,50 b	-0,48 a
			70	0,06 ab	-0,63 a
			140	0,31 a	-0,64 a
			70 dcd	0,51 a	-0,45 a
		$N\text{-NO}_3^-$	70	-0,16 ab	-0,44 a
	Bayóvar	$N\text{-NH}_4^+$	0	0,66 b	0,65 abc
			70	1,52 a	1,11 a
			140	1,12 ab	0,29 c
			70 dcd	1,51 a	0,50 bc
		$N\text{-NO}_3^-$	70	1,01 ab	0,86 ab
Médio	Araxá	$N\text{-NH}_4^+$	0	-0,02 b	-0,71 ab
			70	0,02 b	-1,00 b
			140	0,29 ab	-0,90 ab
			70 dcd	0,13 b	-0,85 ab
		$N\text{-NO}_3^-$	70	0,88 a	-0,42 a
	Bayóvar	$N\text{-NH}_4^+$	0	0,89 a	0,33 a
			70	1,14 a	0,17 a
			140	1,50 a	0,09 a
			70 dcd	1,33 a	0,04 a
		$N\text{-NO}_3^-$	70	1,40 a	0,09 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna, dentro de cada nível e fonte de P, não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

Em solo com ausência de planta e com média disponibilidade de P, observou-se maior valor de ΔCa quando o FN Araxá foi combinado com N-NO_3^- porém este não diferiu da ausência de N, da combinação com N-NH_4^+ na maior dose e de N-NH_4^+ com inibidor. Não houve diferença nos valores de ΔCa para FN Bayóvar em solo com média disponibilidade de P e ausência de planta (Quadro 2).

3.2. Alterações do pH e nitrificação

Com a aplicação do P e o período de incubação (30 d) para condicionar o solo a uma média disponibilidade, observou-se redução do pH: de 5,63 para 5,36. Entre as fontes de P, observaram-se maiores valores de pH quando utilizado o FN Bayóvar (Figura 1).

O pH do solo no T_0 , de acordo com as fontes de N, pode ser observado no quadro 3, sendo esse o ambiente encontrado antes de as plântulas serem transplantadas. Em T_0 , obtiveram-se menores valores de pH quando a fonte fosfatada foi o ST ou quando a fonte nitrogenada foi o $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (Quadro 3). Na presença da planta, após 46 d, houve maiores elevações de pH quando fornecido N-NO_3^- , e os menores valores de pH foram encontrados na maior dose de N-NH_4^+ (Figura 2). Houve maior influência da planta no valor de pH em relação à ausência de planta em P_{baixo} (Figura 1). Na ausência de planta, em solo com média disponibilidade de P, observaram-se alterações nos valores de pH dentro das variações de dose e uso do inibidor em N-NH_4^+ , onde houve maiores valores de pH quando utilizado o inibidor DCD (Quadro 3).

Não foi encontrado N-NH_4^+ no solo com a presença de planta, e os valores de NO_3^- mantiveram-se em valor basal, com média de $3,10 \text{ mg dm}^{-3}$, não diferindo

estatisticamente. Na ausência de planta, a nitrificação foi inibida em P_{baixo}, como ilustrado pelos valores de pH (Quadro 3); já em P_{médio}, observou-se maior nitrificação e conservação da forma N-NH₄⁺ com a utilização do inibidor DCD (Figura 3).

Quadro 3. Valores de pH do solo com a adição dos fertilizantes fosfatados combinados com nitrogênio antes do transplantio das plântulas (T₀) e após 46 d (T₄₆) de cultivo do milho, em solo com presença e ausência de planta

Nível de P	Fonte de P	N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- pH T ₀ -----						
Baixo	Controle	5,64				
	Araxá	5,64 a	5,65 a	5,64 a	5,66 a	5,47 b
	Bayóvar	5,64 a	5,65 a	5,61 a	5,64 a	5,45 b
	ST	5,53 a	5,51 a	5,50 a	5,51 a	5,38 b
Médio	Controle	5,37				
	Araxá	5,38 a	5,41 a	5,40 a	5,40 a	5,27 b
	Bayóvar	5,39 a	5,40 a	5,42 a	5,41 a	5,27 b
	ST	5,26 ab	5,31 a	5,30 a	5,28 ab	5,22 b
----- pH na presença da planta -----						
Baixo	Controle	5,48				
	Araxá	5,48 a	5,23 b	5,07 c	5,19 b	5,43 a
	Bayóvar	5,78 a	5,44 b	5,27 c	5,42 b	5,65 a
	ST	5,43 a	5,12 b	5,04 c	5,14 b	5,36 a
Médio	Controle	5,29				
	Araxá	5,39 a	5,18 b	5,06 b	5,16 b	5,36 a
	Bayóvar	5,66 a	5,38 b	5,26 c	5,38 b	5,60 a
	ST	5,35 a	5,14 bc	5,00 c	5,15 b	5,34 a
----- pH na ausência da planta -----						
Baixo	Controle	5,63				
	Araxá	5,69 b	5,76 ab	5,75 ab	5,81 a	5,57 c
	Bayóvar	5,80 a	5,77 ab	5,74 ab	5,83 a	5,68 b
	ST	5,70 a	5,72 a	5,69 a	5,73 a	5,54 b
Médio	Controle	5,30				
	Araxá	5,42 a	5,19 b	5,17 b	5,44 a	5,30 ab
	Bayóvar	5,58 ab	5,50 bc	5,42 c	5,65 a	5,52 abc
	ST	5,39 ab	5,30 bc	5,20 c	5,45 a	5,33 b

Médias seguidas de letras iguais na linha, dentro de cada nível e fonte de P, não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

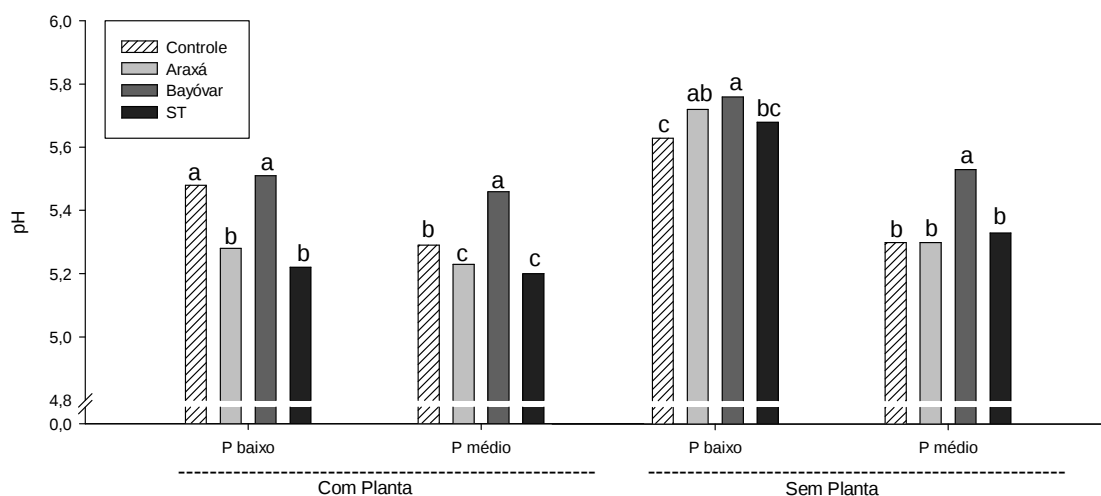


Figura 1. Influência da fonte de P no pH dos solos rizosférico e não rizosférico após 46 d do plantio de milho nos rizotubos (média para dose e fonte de N). Médias seguidas de letras iguais dentro dos níveis de P não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

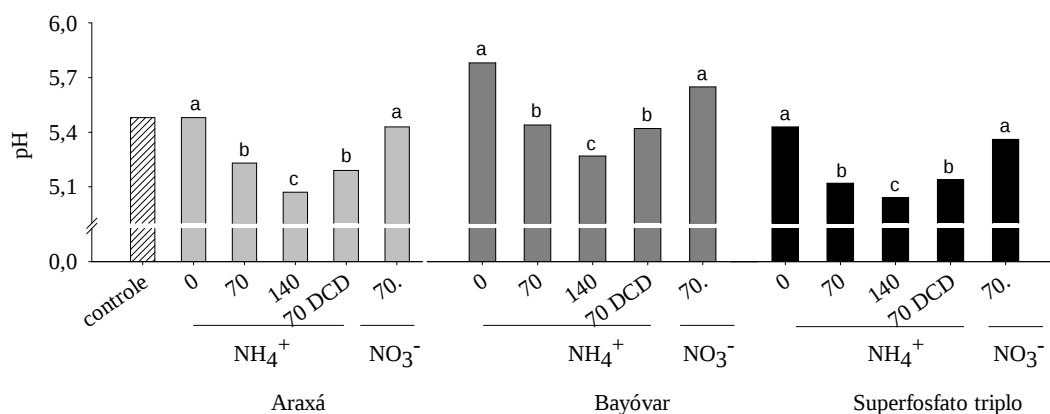


Figura 2. Valor de pH do solo com a presença da planta devido à aplicação da fonte de P combinada com a fonte de N em P_{baixo} , após 46 d de cultivo. Médias seguidas de letras iguais dentro de cada fonte de P não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

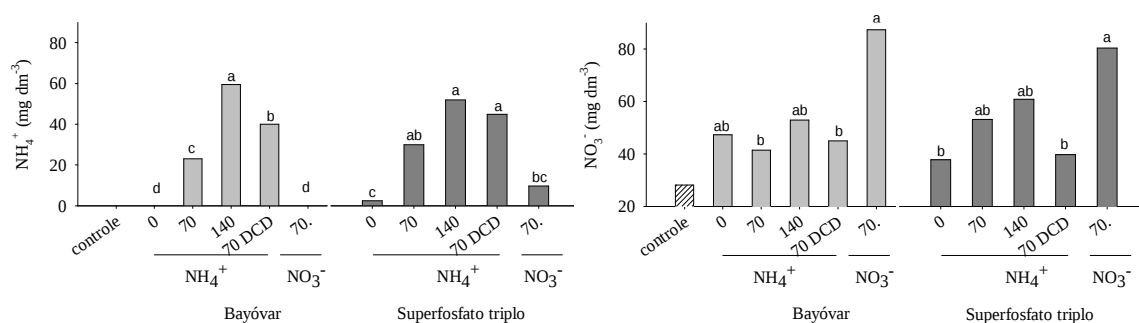


Figura 3. Teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo na ausência da planta e com aplicação de fosfato e nitrogênio, em solo com média disponibilidade de P ($30,7 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo extrator resina). Médias seguidas de letras iguais dentro de fonte e dose de N combinado com a fonte de P não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

3.3. P-resina e Ca no solo

A fonte solúvel (ST) promoveu rápido aumento da disponibilidade de P no T_0 , ficando disponível $191,21$ e $249,12 \text{ mg dm}^{-3}$, em P_{baixo} e $P_{\text{médio}}$, respectivamente. Para os FNs, também se observou diferença na disponibilidade inicial de P, sendo $23,38$ e $60,26 \text{ mg dm}^{-3}$ para Bayóvar e $5,29$ e $40,32 \text{ mg dm}^{-3}$ para Araxá, em P_{baixo} e $P_{\text{médio}}$, respectivamente.

Ao final dos 46 d de cultivo de milho, o superfosfato triplo proporcionou maior valor de P-resina no solo, independentemente da combinação com N (Figuras 4 e 5). Os teores de P-resina no solo atingiram valores de $61,88$ e $91,83 \text{ mg dm}^{-3}$ na presença da planta e de $84,88$ e $121,26 \text{ mg dm}^{-3}$ na ausência, para P_{baixo} e $P_{\text{médio}}$, respectivamente. Em relação aos fosfatos naturais, o FN de Bayóvar foi mais efetivo no aumento do P-resina: os teores no solo atingiram valores de $28,13$ e $62,18 \text{ mg dm}^{-3}$ na presença da planta e de $31,70$ e $62,58 \text{ mg dm}^{-3}$ na ausência, para P_{baixo} e $P_{\text{médio}}$, respectivamente. Em média, os valores de P-resina no solo ao final do período

experimental foram similares entre os tratamentos com FN de Araxá e o controle, sem adubação (Figuras 4 e 5).

No tocante ao efeito da combinação de N e FN Araxá em P_{baixo} , na presença da planta, obtiveram-se maiores valores de P-resina no solo quando a fonte nítrica esteve associada à fonte fosfatada ($5,61 \text{ mg dm}^{-3}$ de P). No entanto, eles não diferiram estatisticamente da aplicação do N-NH_4^+ e DCD (Figura 5). A fonte ou dose de N não alterou os valores de P-resina ao final de 46 d de cultivo do milheto quando se utilizou FN de Bayóvar em P_{baixo} .

Para o superfosfato triplo em P_{baixo} na presença de planta, a fonte amoniacal com inibidor ou na maior dose propiciou maiores teores de P-resina ao final do período, em média, $67,78 \text{ mg dm}^{-3}$, em comparação à fonte nítrica ($52,78 \text{ mg dm}^{-3}$). No cultivo do milheto não houve diferença de P-resina em nenhuma das fontes combinadas com N em $P_{médio}$.

Na ausência de planta e em solo com baixa disponibilidade de P, o valor de P-resina foi maior para FN Araxá quando combinado com N-NH_4^+ sem inibidor. Para FN Bayóvar, a combinação com N-NH_4^+ sem inibidor em P_{baixo} diferiu da ausência de N. Em solo com média disponibilidade de P, houve maior valor de P-resina quando combinado FN Araxá com N-NH_4^+ sem inibidor; para FN Bayóvar, a combinação com NH_4^+ na maior dose proporcionou maiores valores de P-resina, porém a combinação com qualquer fonte e dose de nitrogênio amoniacal proporcionou maior valor de P-resina em relação à fonte nítrica (Quadro 4).

O teor de Ca obtido em P_{baixo} , quando aplicado FN de Araxá na presença da planta, não diferiu estatisticamente do controle (sem adubação com P e N) e foi de $342,77 \text{ mg dm}^{-3}$; em $P_{médio}$, houve diferença em relação ao controle, sendo de $366,32 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 6). Em solo com baixa disponibilidade de P, os valores de Ca no

solo foram superiores ($454,27 \text{ mg dm}^{-3}$) com a aplicação do FN Bayóvar em comparação ao ST ($396,17 \text{ mg dm}^{-3}$), na presença da planta. O FN Bayóvar propiciou teores de Ca no solo similares aos do superfosfato triplo em $P_{\text{médio}}$: $463,52$ e $446,29 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Os teores de Ca foram superiores nos rizotubos na ausência da planta, em relação à presença, devido à não absorção no período experimental.

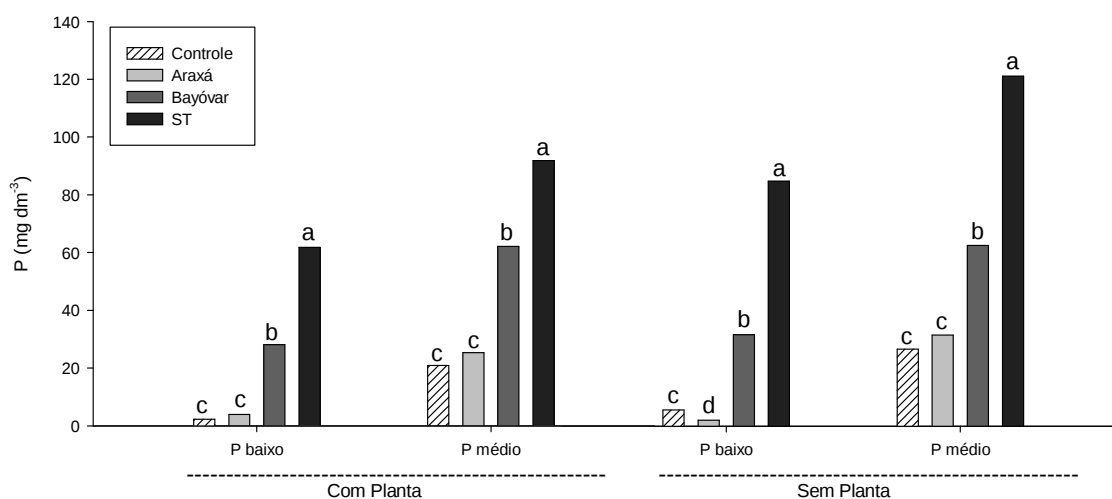


Figura 4. P disponível nos solos rizosférico e não rizosférico pelo extrator resina após 46 d da aplicação de fosfatos (média para dose e fonte de N) nos rizotubos para cultivo do milho. Médias seguidas de letras iguais dentro dos níveis de P não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

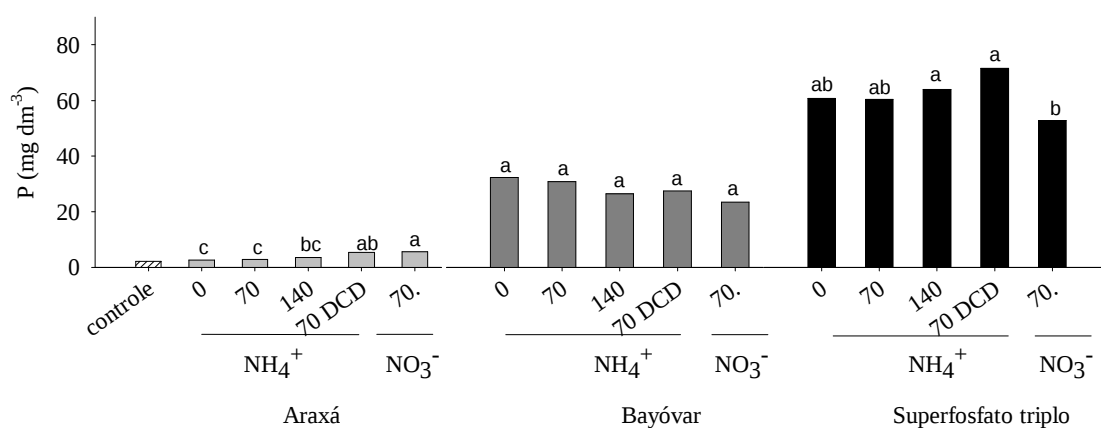


Figura 5. P disponível devido à fonte de N fornecida, em solo com baixa disponibilidade de P (P_{baixo}) e na presença do milho. Médias seguidas de letras iguais, dentro de fonte e dose de N combinado com a fonte de P, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 4. Valores de P-resina em solo com baixa e média disponibilidade de P na ausência de planta

Nível de P	Fonte de P	N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- P-resina -----						
Baixo	Controle	5,66				
	Araxá	0,00 c	8,39 a	0,00 c	2,37 b	0,00 c
	Bayóvar	24,61 b	46,23 a	31,68 ab	27,86 ab	28,10 ab
	ST	87,13 a	99,22 a	79,24 a	75,98 a	82,84 a
Médio	Controle	26,64				
	Araxá	27,01 b	51,34 a	30,54 ab	25,67 b	23,18 b
	Bayóvar	53,77 bc	68,72 ab	80,78 a	63,02 ab	46,59 c
	ST	99,02 a	121,15 a	145,20 a	125,34 a	111,59 a

Médias seguidas de letras iguais na linha, dentro de cada nível e fonte de P, não diferem a 5 % pelo teste de Tukey e comparam o efeito do N.

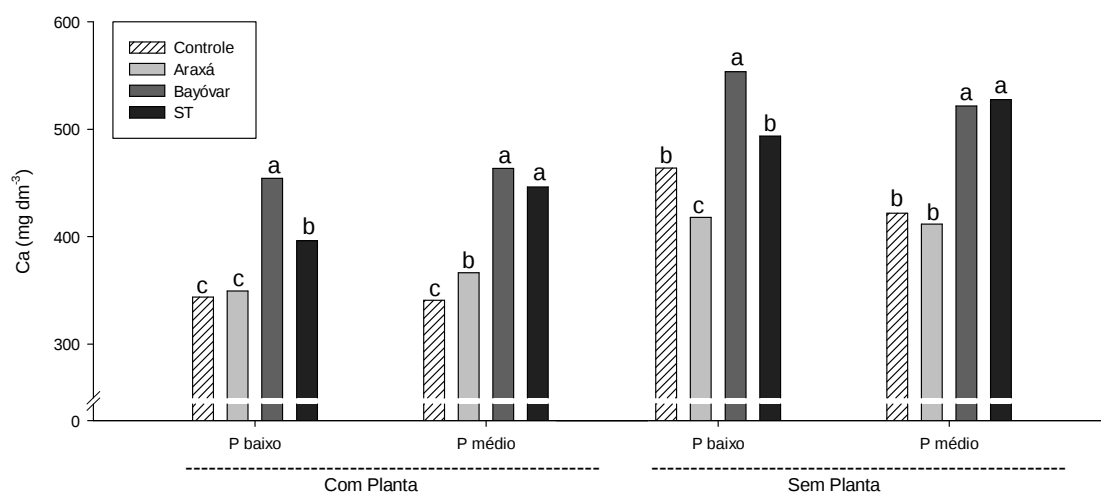


Figura 6. Ca (expresso em massa) no solo com e sem planta após 46 d da aplicação de fosfatos (média para dose e fonte de N) nos rizotubos para cultivo do milho. Médias seguidas de letras iguais dentro dos níveis iniciais de P não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

4. DISCUSSÃO

O fornecimento de N-NH_4^+ ou N-NO_3^- alterou o pH rizosférico em função da manutenção de neutralidade elétrica celular (Haynes, 1990; Gahoonia et al., 1992; Marschner, 1995; Dakora & Phillips, 2002; Hinsinger, 2003). Notou-se maior tamponamento de pH e disponibilidade de Ca^{2+} trocável quando fornecido FN Bayóvar, pelo fato de este ser uma fonte sedimentar marinha com presença de CaCO_3 . Resultado semelhante foi obtido por Perez et al. (2007), trabalhando com o FN Monte Fresco.

Na ausência de planta, no ambiente que proporcionou maior nitrificação ($\text{P}_{\text{médio}}$), observaram-se maiores valores de pH e maiores quantidades de amônio quando utilizado o inibidor de nitrificação DCD, o que corrobora resultados de

Marcelino (2009). Outros trabalhos relatam a baixa nitrificação no solo, como ocorreu em P_{baixo} (Khalil et al., 2001; Zhao et al., 2007). A menor nitrificação em P_{baixo} pode ser devido à menor atividade das bactérias nitrificantes quando há menor disponibilidade de P no solo (Purchase, 1974; Hue & Adams, 1984). Os pequenos valores de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ em solo com presença de planta mostraram o consumo de grande parte da fonte nitrogenada aplicada.

A disponibilidade de P seguiu a ordem: ST > Bayóvar > Araxá $\approx$ Controle, nos diferentes níveis de $P_{inicial}$ no solo, na presença ou ausência de planta, de acordo com as características químicas e mineralógicas da fonte (Perez et al., 2007). A classificação do P-resina (Raij et al., 1997) altera para os FNs de acordo com o $P_{inicial}$, sendo: Araxá passa de baixa disponibilidade (P_{baixo}) para média ($P_{médio}$), e Bayóvar, de média (P_{baixo}) para alta ($P_{médio}$).

Em solo com baixa disponibilidade de P e presença de planta, a combinação de FN Araxá com a fonte nítrica proporcionou maior valor de P-resina no solo em relação à fonte amoniacal (mesma dose de N sem inibidor), possivelmente devido ao maior valor de pH e à menor adsorção/precipitação de P no solo (Souza et al., 2006); também se observa maior P-resina quando combinado com a fonte amoniacal na presença do inibidor. Para ST, observaram-se maiores valores de P-resina quando combinado com fontes que proporcionam maior presença de $N-NH_4^+$.

Em $P_{médio}$ não se observou efeito da fonte de N para aumento da disponibilidade de P em nenhum fertilizante fosfatado, possivelmente devido à dinâmica de solubilidade de P ligado a Ca ou óxidos, fazendo com que em pHs superiores houvesse favorecimento de disponibilidade de P-óxidos, e em pHs inferiores, de P-Ca (Norrish & Rosser, 1983; Lindsay et al., 1989). Resende et al., trabalhando com diferentes fontes fosfatadas em três cultivos sucessivos de milho,

observaram incrementos de produção semelhantes, atribuindo parte desse resultado ao efeito residual das adubações passadas.

Há uma grande importância da presença da planta na solubilização de FNs (Hinsinger & Gilkes, 1996), a qual aumentou, em 46 d, a solubilização (com base no ΔCa) das fontes de FN.

Na presença de planta em P_{baixo} , houve maiores valores de solubilização dos FNs quando combinados com N-NH_4^+ . Isso pode ser o resultado de uma interação de fatores, como os valores de pH mais baixos, que favorecem a solubilização (Cantarutti et al., 1981) e a absorção preferencial de P na presença de N-NH_4^+ (Kant et al., 2011; Zeng et al., 2012).

A solubilização em $P_{\text{médio}}$ foi maior para FN Araxá combinado com a fonte N-NO_3^- , o que pode ser atribuído ao efeito de aumento de pH, considerando o baixo pH inicial nesse nível inicial de P. Esse aumento de pH pode ter favorecido o “dreno Ca^{2+} ” do solo (Novais et al., 1985) e o desenvolvimento radicular.

Na ausência de planta, observa-se que a solubilização foi independente do valor de pH. Em $P_{\text{médio}}$, onde a nitrificação foi mais intensa e houve maior acidificação (N-NH_4^+ na maior dose e na menor dose sem inibidor), observaram-se menores valores de P-resina, possivelmente devido à maior adsorção específica/precipitação (Souza et al., 2006).

A adubação fosfatada cada vez mais localizada e a larga utilização de solos com fertilidade “pré-construída” alteram a dinâmica das fontes utilizadas. Segundo Rajan et al. (1996), os fosfatos naturais de boa qualidade são boas fontes para o manejo de longo prazo, pois acabam sendo uma fonte de liberação controlada de P. Mais estudos com diferentes espécies em solos agricultáveis devem ser realizados, a fim de melhorar a pouco eficiente adubação fosfatada nos solos tropicais.

5. CONCLUSÕES

1. A nitrificação é dependente da disponibilidade de P no solo.
2. A presença da planta favorece a solubilização dos FNs.
3. Combinações que favorecem a solubilização não necessariamente disponibilizam mais P.
4. O valor de P-resina devido à combinação do fertilizante fosfatado com N depende dos teores iniciais de P no solo e da presença ou ausência de planta.

6. REFERÊNCIAS

- BOLAN, N. S. & HEDLEY, M. J. Dissolution of phosphate rocks in soils. 2. Effect of pH on dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. *Fert. Res.*, 24:125-134, 1990.
- BOWEN, G. D. & ROVIRA, A. D. The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Adv. Agronomy*, 66:1-102, 1999.
- BOX, G. E. P. & COX, D. R. Analysis of transformations (with discussion). *Journal of the Royal Statistics Society, Brighton.*, 26:211-252, 1964.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectofotométrica de fósforo em extratos de solos e planta. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; NOVAIS, R. F.; THIEBAUT, J. T. L. Época de aplicação de fosfato natural em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 5: 129-133, 1981.
- DAKORA, F. D. & PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant Soil*, 245:35-47, 2002.
- DE BOER, W. & KOWALCHUK, G. A. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. *Soil Biol. Biochem.*, 33:853-866, 2001.
- DI, H. J. & CAMERON, K. C. Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. *Aust. J. Soil Res.*, 42:927-932, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2 ed. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

- GAHOONIA, T. S.; CLAASSEN, N. & JUNGK, A. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant Soil*, 140:241-248, 1992.
- HAYNES, R. J. Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: A critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. *Plant Soil*, 126:247-264, 1990.
- HINSINGER, P. & GILKES, R. J. Mobilization of phosphate from phosphate rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. *Eur. J. Soil Sci.*, 47:533-544, 1996.
- HINSINGER, P.; PLASSARD, C.; TANG, C. & JAILLARD, B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant soil*, 248:43-59, 2003.
- HOFFMANN, C.; LADEWIG, E.; CLAASSEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus uptake of maize as affected by ammonium and nitrate nitrogen-Measurements and model calculations. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 157: 225-232, 1994.
- HUE, N. V.; ADAMS, FRED. Effect of phosphorus level on nitrification rates in three low-phosphorus ultisols. *Soil science*, 137: 324-331, 1984.
- IFA - INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. Direct application of phosphate rock (DAPR). *Feeding the earth*, 2013. 4 p.
- KANT, S.; PENG, M. & ROTHSTEIN, S. J. Genetic regulation by NLA and microRNA827 for maintaining nitrate-dependent phosphate homeostasis in *Arabidopsis*. *PLoS genetics*, 7:e1002021, 2011.
- KEMPERS, A. J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate methods. *Commun. in Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723. 1986.

- KHALIL, M. I.; VAN CLEEMPUT, O.; BOECKX, P. & ROSENANI, A. B. Nitrogen transformations and emission of greenhouse gases from three acid soils of humid tropics amended with N sources and moisture regime. I. Nitrogen transformations. *Commun. Soil Sci. Plant*, 32:2893-2907, 2001.
- KPOMBLEKOU-A, K., & TABATABAI, M. A. Effect of low-molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 100:275-284, 2003.
- LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G. & CHIEN, S. H. Phosphate minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. *Minerals in soil environment*. 2. ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, 1989. p. 1089-1130.
- MARCELINO, R. Inibidor de nitrificação em fertilizantes nitrogenados e rendimento de milho. Campinas, SP: Instituto, 2009. 98 p. (Tese de Mestrado).
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- NORRISH, K. & ROSSER, H. Mineral phosphate. In: NORRISH, K. & ROSSER, H., *Soils: an Australian viewpoint*. Melbourne, CSIRO/London, UK, Australia, Academic Press, 1983. p. 335-361.
- NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C.; RIBEIRO, A. C. & VASCONCELOS, C. A. Solubilização de fosfatos incubados com amostras de Latossolo submetidas a diferentes números de revolvimento. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:23-26, 1985.
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- PARFITT, R. L. The availability of P from phosphate-goethite bridging complexes, desorption and uptake by ryegrass. *Plant Soil*, 53:55-65, 1979.

- PEREZ, M. J.; SMYTH, T. J. & ISRAEL, D. W. Comparative effects of two forage species on rhizosphere acidification and solubilization of phosphate rocks of different reactivity. *J. Plant Nutr.*, 30:1421-1439, 2007.
- PURCHASE, B. S. The influence of phosphate deficiency on nitrification. *Plant Soil*, 41: 541-547, 1974.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. & SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 14:547-566, 1986.
- RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.
- RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H. & SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. *Adv. Agron.*, 57:77-159, 1996.
- RESENDE, Á.V.D.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C., MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L. & CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:453-466, 2006.
- SARKAR, A. N. & WYN JONES, R. G. Influence of rhizosphere on the nutrient status of dwarf French beans. *Plant Soil*, 64:369-380, 1982.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). *Software and services: system for Windows*, version 8.0: software. Cary, 2002.

- SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; & BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. R. Bras. Ci. Solo, 30: 975-983, 2006.
- XIN-BIN, Z.; JIAN-GUO, H.; YONG-XIANG, Z. & WEI-MING, S. The mechanism on rhizosphere phosphorus activation of two wheat genotypes with different phosphorus efficiency. African J. Biotech., 11:1579-1591, 2012.
- YANG, J. E.; SLOGLEY, E. O.; SCHAFF, B. E. & KIM, J. J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. Soil Sci. Am. J., 62:1108-1115, 1998.
- ZENG, H.; LIU, G.; KINOSHITA, T.; ZHANG, R.; ZHU, Y.; SHEN, Q. & XU, G. Stimulation of phosphorus uptake by ammonium nutrition involves plasma membrane H⁺ ATPase in rice roots. Plant soil, 357:205-214, 2012.
- ZHAO, W.; CAI, Z. & XU, Z. Does ammonium-based N addition influence nitrification and acidification in humid subtropical soils of China? Plant Soil, 297:213-221, 2007.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados indicaram maior nitrificação em $P_{\text{médio}}$ (na ausência de planta). A presença da planta favoreceu a solubilização dos FNs, porém combinações que favorecem a solubilização não necessariamente disponibilizaram mais P. Observou-se que a resposta da adubação fosfatada combinada com N depende dos teores iniciais de P no solo, para FN Araxá em P_{baixo} e FN Bayóvar em $P_{\text{médio}}$. De maneira geral, o fornecimento de $N-NH_4^+$ proporcionou maior matéria seca em P_{baixo} e maior conteúdo de P. A presença de $N-NH_4^+$ aumentou a recuperação pela planta do FN Araxá em P_{baixo} e do FN Bayóvar em $P_{\text{médio}}$.

APÊNDICE

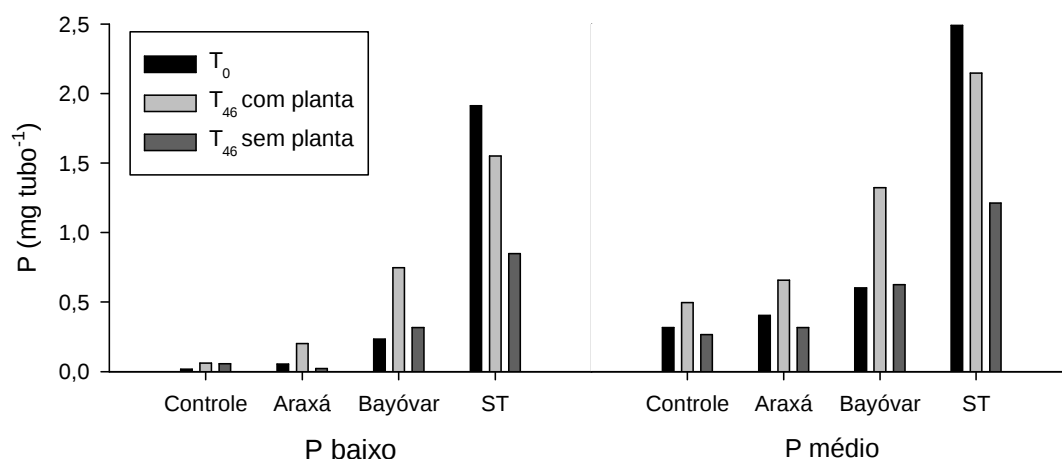


Figura 1A. Liberação de P das fontes utilizadas de acordo com o tempo e a presença ou ausência de planta. T₀: disponibilidade de P pela fonte antes do transplântio das plântulas de milho. T₄₆: disponibilidade de P pela fonte após 46 d do transplântio.

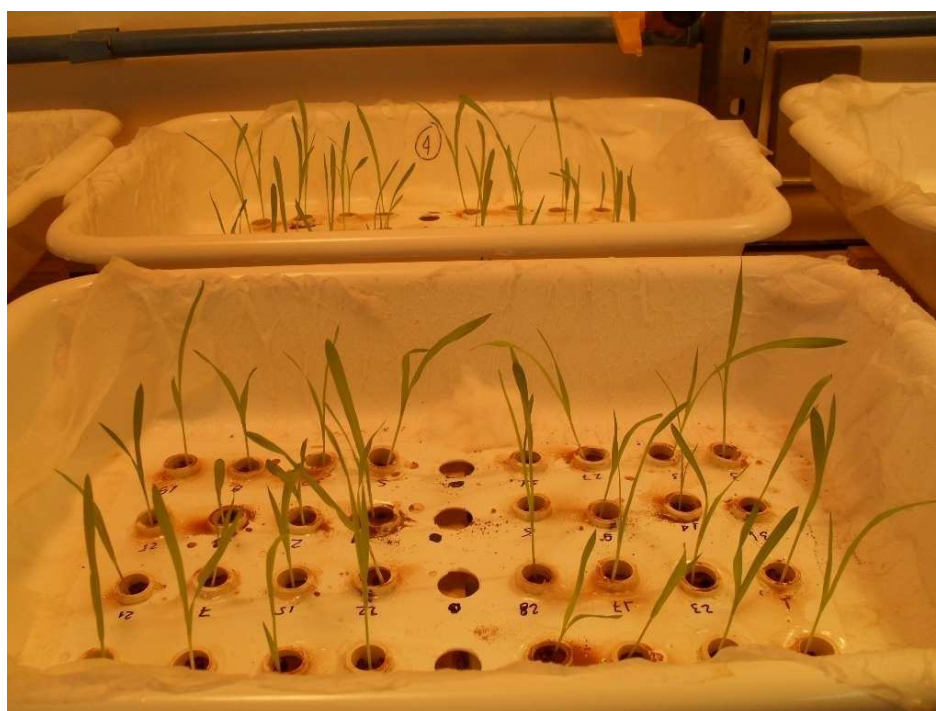


Figura 2A. Plântulas de milho recém-transplantadas para os rizotubos de policloreto de vinila clorado (CPVC) com 11,6 mm de diâmetro e 151,2 mm de comprimento, fixados em uma placa de policloreto de vinila (PVC).



Figura 3A. Plântulas de milho recém-transplantadas para os rizotubos de policloreto de vinila clorado (CPVC) com 11,6 mm de diâmetro e 151,2 mm de comprimento, fixados em uma placa de policloreto de vinila (PVC) e sustentados por uma estrutura de madeira.

Quadro 1A. Conteúdo de Ca e Mg após 46 d de cultivo do milho em rizotubos com adição de fertilizantes fosfatados combinados com nitrogênio

Nível P _{inicial} no solo	Fonte de P	N (mg dm ⁻³)				
		N-NH ₄ ⁺				N-NO ₃ ⁻
		0	70	140	70 _{DCD}	70
----- Ca de parte aérea (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	404,65				
	Araxá	804,43 a	788,31 a	1095,68 a	1078,57 a	816,32 a
	Bayóvar	1051,41 a	1025,17 a	1035,51 a	1173,99 a	952,35 a
	ST	847,79 a	1269,44 a	1111,16 a	1184,07 a	1201,52 a
Médio	Controle	906,04				
	Araxá	771,74 b	1038,28 ab	993,33 ab	1061,74 a	1244,27 a
	Bayóvar	832,46 c	1061,93 bc	1263,51 ab	1130,56 abc	1425,51 a
	ST	1098,18 a	1404,33 a	1339,85 a	1431,65 a	1477,77 a
----- Ca de raiz (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	203,05				
	Araxá	273,04 b	368,16 ab	313,55 ab	414,19 ab	493,91 a
	Bayóvar	348,50 a	570,93 a	297,98 a	470,80 a	601,19 a
	ST	481,86 a	490,61a	334,95 a	589,54 a	523,30 a
Médio	Controle	520,5				
	Araxá	559,81 a	459,40 a	358,95 a	501,68 a	563,53 a
	Bayóvar	561,92 ab	376,36 bc	345,80 c	527,24 abc	755,22 a
	ST	556,09 ab	490,02 b	334,93 c	652,66 ab	734,00 a
----- Mg de parte aérea (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	181,73				
	Araxá	244,58 b	348,96 ab	644,75 a	480,06 ab	495,46 ab
	Bayóvar	358,75 a	609,71 a	716,61 a	665,40 a	616,01 a
	ST	298,78 b	688,89 a	696,71 a	703,23 a	748,59 a
Médio	Controle	348,1				
	Araxá	286,87 b	703,51 a	783,25 a	763,01 a	881,30 a
	Bayóvar	312,34 b	758,37 a	990,35 a	772,82 a	860,90 a
	ST	412,81 b	960,86 a	955,98 a	839,78 ab	923,34 a
----- Mg de raiz (µg/planta) -----						
Baixo	Controle	126,25				
	Araxá	140,46 b	166,95 b	263,33 a	202,83 ab	257,53 a
	Bayóvar	159,61 a	308,73 a	208,97 a	266,90 a	394,72 a
	ST	189,69 b	258,62 ab	220,71 ab	307,94 a	274,88 ab
Médio	Controle	363,07				
	Araxá	361,35 a	271,16 a	265,52 a	302,64 a	341,45 a
	Bayóvar	315,33 a	207,67 ab	263,69 ab	374,65 a	385,79 a
	ST	361,86 a	366,25 a	265,63 b	350,70 ab	408,25 a

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 2A. Análise de variância de matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca de parte aérea (MSPA)

FV	MSR		MSPA	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	3	0,00072247	3	0,00026612
P no solo	1	0,00736823 **	1	0,00049033
Fonte d/ P baixo	3	0,00622924 **	3	0,00605944 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	0,00297370 **	4	0,00239329 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	0,00235416 **	4	0,00185352 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	0,00202804 **	4	0,00355861 **
Fonte d/ P médio	3	0,00197514 **	3	0,00274948 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	0,00188609	4	0,00291171 **
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	0,00223749 **	4	0,00370940 **
Fonte N/ST/ P médio	4	0,00305302 **	4	0,00345264 **
Resíduo	84	0,00048668	88	0,00021780
CV (%)		2,49		2,45

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 3A. Análise de variância de pH do solo na presença de planta e pH do solo na ausência de planta

FV	pH (com planta)		pH (sem planta)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	3	1,4776618E-8 **	3	3,887029
P no solo	1	3,1605234E-8 **	1	3197,999313 **
Fonte d/ P baixo	3	3,9843082E-7 **	3	39,3691437 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	1,9528E-7 **	4	35,9635067 **
Fonte N/Bayóvar d/ P	4	1,3979325E-7 **	4	14,4679853 **
baixo				
Fonte N/ST/ P baixo	4	1,992825E-7 **	4	23,2724922 **
Fonte d/ P médio	3	4,0329544E-7 **	3	188,5055468 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	1,2908042E-7 **	4	49,3270346 **
Fonte N/Bayóvar d/ P	4	1,2683173E-7 **	4	29,0183613 **
médio				
Fonte N/ST/ P médio	4	1,4830794E-7 **	4	29,4657715 **
Resíduo	84	4,8441427E-9	93	2,416637
CV (%)		0,02		2,74

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 4A. Análise de variância de Ca^{2+} na presença de planta e Ca^{2+} na ausência de planta

FV	Ca^{2+} (com planta)		Ca^{2+} (sem planta)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	3	1,285892E-10 **	3	0,7081196
P no solo	1	9,267072E-10 **	1	0,3198141
Fonte d/ P baixo	3	1,9769474E-9 **	3	40,2604719 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	7,1147E-11	4	1,5522321 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	5,715289E-11 **	4	1,8997007 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	5,429425E-11	4	4,5934210 **
Fonte d/ P médio	3	2,1287681E-9 **	3	41,4423396 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	5,292075E-11	4	0,7155162
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	3,836936E-11	4	0,1112059
Resíduo	87	3,370244E-11	93	0,7297475
CV (%)		0,0008		3,07

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 5A. Análise de variância de Mg^{2+} na presença de planta e Mg^{2+} na ausência de planta

FV	Mg^{2+} (com planta)		Mg^{2+} (sem planta)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	3	0,00013931	3	2,61693E-10
P no solo	1	0,00696429 **	1	2,9251688E-9 **
Fonte d/ P baixo	3	0,00324284 **	3	2,555173E-10
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	0,00254609 **	4	2,3396668E-9 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	0,00314101 **	4	2,2711208E-9 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	0,00362577 **	4	2,1280858E-9 **
Fonte d/ P médio	3	0,00030750	3	1,324766E-10
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	0,00304436 **	4	1,420087E-9 **
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	0,00331380 **	4	1,0857655E-9 **
Fonte N/ST/ P médio	4	0,00329860 **	4	1,375285E-9 **
Resíduo	87	0,00022620	93	1,182348E-10
CV (%)		1,00		0,0022

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 6A. Análise de variância da disponibilidade de P na presença de planta e na ausência de planta

FV	P (com planta)		P (sem planta)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	0,824020	2	0,224574
P no solo	1	781,836833 **	1	372,409206 **
Fonte d/ P baixo	3	482,216368 **	3	366,446685 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	1,581477 **	4	20,863797 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	1,853252	4	1,779763 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	2,449551 **	4	0,927695
Fonte d/ P médio	3	323,4596508 **	3	106,3681366 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	0,3546050	4	3,8508846 **
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	0,5196845	4	2,8504395 **
Fonte N/ST/ P médio	4	1,1101703	4	1,8398090 **
Resíduo	60	0,859100	58	0,644937
CV (%)		8,32		10,33

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 7A. Análise de variância do conteúdo de Ca na parte aérea e raiz

FV	Ca (parte aérea)		Ca (raiz)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	115871,790 **	2	2,27945973
P no solo	1	723171,558 **	1	14,95379604 **
Fonte d/ P baixo	3	411081,196	3	6,57661294 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	109518,513	4	2,68604589 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	29037,287	4	5,90338418 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	121668,334	4	3,36420267 **
Fonte d/ P médio	3	564231,118	3	1,05837861
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	129550,850 **	4	2,73958278 **
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	224682,990 **	4	8,55703725 **
Fonte N/ST/ P médio	4	67289,619	4	7,84934038 **
Resíduo	59	35439,376	56	1,1099972
CV (%)		14,49		6,70

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 8A. Análise de variância do conteúdo de Mg na parte aérea e raiz

FV	Mg (parte aérea)		Mg (raiz)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	15025,6568 **	2	0,76919061
P no solo	1	181032,5941 **	1	35,38859907 **
Fonte d/ P baixo	3	43248,1249 **	3	4,28518874 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	18985,8131 **	4	2,52890934 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	14838,0341 **	4	3,91866282 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	26994,2578 **	4	1,93817372 **
Fonte d/ P médio	3	48846,8650 **	3	1,67644111 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	41196,9098 **	4	0,99402758
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	49523,3920 **	4	4,06875121 **
Fonte N/ST/ P médio	4	39625,8876 **	4	1,63698013 **
Resíduo	60	3952,328	56	0,8514981
CV (%)		17,89		7,13

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 9A. Análise de variância do conteúdo de P na parte aérea e raiz

FV	P (parte aérea)		P (raiz)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	3,403176	2	32,945254
P no solo	1	185,216592 **	1	1439,248947 **
Fonte d/ P baixo	3	308,8484702 **	3	1693,520142 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	1,2943317	4	58,832435
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	6,1085190	4	58,574088
Fonte N/ST/ P baixo	4	7,0751807	4	265,942582 **
Fonte d/ P médio	3	213,3969039 **	3	891,344825 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	1,3265839	4	44,085094
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	5,0168298 **	4	133,999324
Fonte N/ST/ P médio	4	7,7856620	4	160,782360
Resíduo	57	1,966134	56	27,73280
CV (%)		8,47		12,94

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 10A. Análise de variância do teor de NH_4^+ sem a presença de planta e NO_3^- na presença de planta

FV	NH_4^+ (sem planta)		NO_3^- (com planta)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	0,0035387	2	1,39649451
P no solo	1	46,9887542 **	1	1,16740044
Fonte d/ P baixo	2	116,1715627 **	2	0,22513554
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	-	-	-	-
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	26,9683508 **	4	0,98545301
Fonte N/ST/ P baixo	4	12,6795385 **	4	1,34064208
Fonte d/ P médio	2	90,1439394 **	2	0,02975146
Fonte N/Araxá d/ P médio	-	-	-	-
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	83,9892129 **	4	0,55308827
Fonte N/ST/ P médio	4	12,8143901 **	4	1,72071660
Resíduo	40	0,477584	39	0,98967346
CV (%)		19,93		59,47

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 11A. Análise de variância do teor de NO_3^- sem a presença de planta e do conteúdo de N na parte aérea

FV	NO_3^- (sem planta)		N (parte aérea)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	0,17643372	2	39806,11
P no solo	1	84,69245008 **	1	350523,23
Fonte d/ P baixo	2	9,14477766 **	2	1167185,387
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	-	-	-	-
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	10,31945074 **	4	271563,254
Fonte N/ST/ P baixo	4	7,49243242 **	4	685805,462 **
Fonte d/ P médio	2	3,70445543 **	2	1645392,281 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	-	-	-	-
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	2,39885208 **	4	736425,379 **
Fonte N/ST/ P médio	4	2,28965242 **	4	1367665,487 **
Resíduo	41	0,4368314	33	87179,84
CV (%)		11,67		18,15

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 12A. Análise de variância do teor de Ca^{2+} antes do transplântio das plântulas (T_0) e pH no T_0

FV	Ca^{2+} (T_0)		pH (T_0)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	3	288,5641	2	0,00003229
P no solo	1	13128,6834 **	1	1,24442604 **
Fonte d/ P baixo	3	57741,4006 **	3	0,05228042 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	1132,0889	4	0,01989333 **
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	1471,2730 **	4	0,02197667 **
Fonte N/ST/ P baixo	4	272,6890	4	0,01175667 **
Fonte d/ P médio	3	69892,3032 **	3	0,03529056 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	240,6559	4	0,01082333 **
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	199,9637	4	0,01189000 **
Fonte N/ST/ P médio	4	3053,1014 **	4	0,00380000 **
Resíduo	93	449,6460	62	0,00028283
CV (%)		4,04		0,31

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 13A. Análise de variância da soma do Ca imobilizado no tecido vegetal e o disponível no solo (planta+solo) e da soma do P imobilizado no tecido vegetal e o disponível no solo pelo extrator resina (planta+solo)

FV	Ca (planta + solo)		P (planta + solo)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	0,00432505	2	0,02309350
P no solo	1	0,43621628 **	1	8,69183127 **
Fonte d/ P baixo	3	0,52935588	3	7,59864497
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	0,01985341	4	0,03486537
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	0,00752903	4	0,04001322
Fonte N/ST/ P baixo	4	0,03381578	4	0,13726108
Fonte d/ P médio	3	0,37187638	3	4,98553184
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	0,01637433	4	0,00431984
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	0,01639879	4	0,04061047
Fonte N/ST/ P médio	4	0,14026853	4	0,06102008
Resíduo	62	0,00720351	62	0,01163921
CV (%)		4,00		12,67

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 14A. Análise de variância do Δ Ca na presença e ausência de planta

FV	Δ Ca (com planta)		Δ Ca (sem planta)	
	GL	QM	GL	QM
Bloco	2	0,03364385	3	0,00530883
P no solo	1	0,34040041 **	1	3,08261668 **
Fonte d/ P baixo	1	9,45331255 **	1	14,6516499 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	0,46732394 **	4	0,03962804
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	0,39161346 **	4	0,03982431 **
Fonte d/ P médio	1	7,4096495 **	1	8,43329989 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	0,40421112 **	4	0,2014488 **
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	0,17470674	4	0,0501342
Resíduo	38	0,08366820	57	0,10420935
CV (%)		42,55		46,79

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 15A. Análise de variância da taxa recuperação de P (TR P) na presença de planta

FV	TR P	
	GL	QM
Bloco	2	0,5365142
P no solo	1	82,4534995 **
Fonte d/ P baixo	3	98,7245727 **
Fonte N/ Araxá d/ P baixo	4	0,9379051
Fonte N/Bayóvar d/ P baixo	4	0,7658039
Fonte N/ST/ P baixo	4	2,8769863 **
Fonte d/ P médio	1	57,8738294 **
Fonte N/Araxá d/ P médio	4	1,5096998
Fonte N/Bayóvar d/ P médio	4	0,3044795 **
Fonte N/ST/ P médio	4	2,9628497
Resíduo	62	0,3788503
CV (%)		10,63

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 16A. Análise de variância da disponibilidade de P antes do transplântio das plântulas (T₀)

FV	P (T ₀)	
	GL	QM
Tratamento	3	63,256 **
P no solo	1	53,684 **
Tratamento*P no solo	3	5,635 **
Resíduo	32	0,048 **
CV (%)		4,64

(**) significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Quadro 17A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função do teor de P inicial no solo. Para Ca^{2+} , P e pH foi realizada a análise antes do transplantio das plântulas (T_0)

Variável	P inicial no solo	
	Baixo	Médio
Matéria seca de raízes (g)	0,1064 b	0,1296 a
Matéria seca de parte aérea (g)	0,1789 a	0,2038 a
pH do solo com planta	5,37 a	5,30 b
pH do solo sem planta	5,70 a	5,37 b
Ca^{2+} do solo com planta (mg dm^{-3})	385,87 b	404,24 a
Ca^{2+} do solo sem planta (mg dm^{-3})	482,24 a	470,76 a
Mg^{2+} do solo com planta (mg dm^{-3})	48,09 b	53,23 a
Mg^{2+} do solo sem planta (mg dm^{-3})	77,68 b	82,71 a
NH_4^+ do solo com planta (mg dm^{-3})	0,07	0
NH_4^+ do solo sem planta (mg dm^{-3})	26,59 a	17,41 b
NO_3^- do solo com planta (mg dm^{-3})	2,82 a	3,45 a
NO_3^- do solo sem planta (mg dm^{-3})	21,70 b	45,74 a
P do solo com planta (mg dm^{-3})	24,07 b	50,07 a
P do solo sem planta (mg dm^{-3})	31,10 b	60,51 a
Ca de parte aérea ($\mu\text{g/rizotubo}$)	872,95 b	1105,27 a
Ca de raiz ($\mu\text{g/rizotubo}$)	379,39 b	519,01 a
Mg de parte aérea ($\mu\text{g/rizotubo}$)	461,24 b	647,30 a
Mg de raiz ($\mu\text{g/rizotubo}$)	212,66 b	332,87 a
P de parte aérea ($\mu\text{g/rizotubo}$)	283,66 b	476,77 a
P de raiz ($\mu\text{g/rizotubo}$)	114,72 b	178,54 a
N de parte aérea ($\mu\text{g/rizotubo}$)	734,33 a	945,85 a
N de raiz ($\mu\text{g/rizotubo}$)	648,88	857,13
$\text{Ca}^{2+} - T_0$ (mg dm^{-3})	510,36 b	523,31 a
pH - T_0	5,59 a	5,35 b
P - T_0 (mg dm^{-3})	55,38	95,34

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do teor do P inicial no solo.

Quadro 18A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		-- Matéria seca de parte aérea (mg/rizotubo) ---
Baixo	Controle	51,8 b
	Araxá	191,7 a
	Bayóvar	234,9 a
	ST	237,4 a
Médio	Controle	128,3 b
	Araxá	222,2 a
	Bayóvar	228,4 a
	ST	236,4 a
----- Matéria seca de raiz (mg/rizotubo) -----		
Baixo	Controle	51,60 b
	Araxá	116,9 a
	Bayóvar	125,8 a
	ST	130,5 a
Médio	Controle	102,9 b
	Araxá	136,4 a
	Bayóvar	133,2 a
	ST	143,1 a
----- pH do solo com planta -----		
Baixo	Controle	5,48 a
	Araxá	5,28 b
	Bayóvar	5,51 a
	ST	5,22 b
Médio	Controle	5,29 b
	Araxá	5,23 c
	Bayóvar	5,46 a
	ST	5,20 c
----- pH do solo sem planta -----		
Baixo	Controle	5,63 c
	Araxá	5,72 ab
	Bayóvar	5,76 a
	ST	5,68 bc
Médio	Controle	5,30 b
	Araxá	5,30 b
	Bayóvar	5,53 a
	ST	5,33 b

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 19A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		----- Ca ²⁺ do solo com planta (mg dm ⁻³) -----
Baixo	Controle	343,770 c
	Araxá	349,264 c
	Bayóvar	454,268 a
	ST	396,166 b
Médio	Controle	340,830 c
	Araxá	366,324 b
	Bayóvar	463,516 a
	ST	446,294 a
----- Ca ²⁺ do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----		
Baixo	Controle	463,890 b
	Araxá	418,060 c
	Bayóvar	553,488 a
	ST	493,532 b
Médio	Controle	421,89 b
	Araxá	411,718 b
	Bayóvar	521,686 a
	ST	527,764 a
---- Mg ²⁺ do solo com planta (mg dm ⁻³) ----		
Baixo	Controle	56,490 a
	Araxá	50,768 ab
	Bayóvar	41,072 c
	ST	44,02 bc
Médio	Controle	53,920 a
	Araxá	53,624 a
	Bayóvar	50,178 a
	ST	55,200 a
----- Mg ²⁺ do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----		
Baixo	Controle	72,030 a
	Araxá	76,672 a
	Bayóvar	79,782 a
	ST	82,248 a
Médio	Controle	74,970 a
	Araxá	84,284 a
	Bayóvar	86,438 a
	ST	85,134 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 20A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		----- NH_4^+ do solo com planta (mg dm^{-3}) -----
Baixo	Controle	0
	Araxá	-
	Bayóvar	0,196
	ST	0
Médio	Controle	0
	Araxá	-
	Bayóvar	0
	ST	0
----- NH_4^+ do solo sem planta (mg dm^{-3}) -----		
Baixo	Controle	0 c
	Araxá	-
	Bayóvar	31,254 b
	ST	48,524 a
Médio	Controle	0 c
	Araxá	-
	Bayóvar	24,502 b
	ST	27,734 a
----- NO_3^- do solo com planta (mg dm^{-3}) -----		
Baixo	Controle	2,590 a
	Araxá	-
	Bayóvar	3,108 a
	ST	2,748 a
Médio	Controle	3,85 a
	Araxá	-
	Bayóvar	3,28 a
	ST	3,21 a
----- NO_3^- do solo sem planta (mg dm^{-3}) -----		
Baixo	Controle	12,94 b
	Araxá	-
	Bayóvar	33,88 a
	ST	18,3 b
Médio	Controle	28,07 b
	Araxá	-
	Bayóvar	54,76 a
	ST	54,39 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 21A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		----- P do solo com planta (mg dm ⁻³) -----
Baixo	Controle	2,23 c
	Araxá	4,02 c
	Bayóvar	28,13 b
	ST	61,88 a
Médio	Controle	20,94 c
	Araxá	25,32 c
	Bayóvar	62,18 b
	ST	91,83 a
----- P do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----		
Baixo	Controle	5,66 c
	Araxá	2,15 d
	Bayóvar	31,70 b
	ST	84,88 a
Médio	Controle	26,64 c
	Araxá	31,55 c
	Bayóvar	62,58 b
	ST	121,26 a
----- Ca de parte aérea (µg/rizotubo) -----		
Baixo	Controle	404,65 b
	Araxá	916,662 a
	Bayóvar	1047,69 a
	ST	1122,80 a
Médio	Controle	906,04 c
	Araxá	1021,87 bc
	Bayóvar	1142,79 b
	ST	1350,36 a
----- Ca de raiz (µg/rizotubo) -----		
Baixo	Controle	203,05 b
	Araxá	372,57 a
	Bayóvar	457,88 a
	ST	484,05 a
Médio	Controle	520,50 a
	Araxá	488,67 a
	Bayóvar	513,31 a
	ST	553,54 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 22A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		----- Mg de parte aérea (µg/rizotubo) -----
Baixo	Controle	181,73 b
	Araxá	442,76 a
	Bayóvar	593,23 a
	ST	627,24 a
Médio	Controle	348,10 b
	Araxá	683,59 a
	Bayóvar	738,96 a
	ST	818,55 a
----- Mg de raiz (µg/rizotubo) -----		
Baixo	Controle	126,25 b
	Araxá	206,22 ab
	Bayóvar	267,79 a
	ST	250,37 a
Médio	Controle	363,07 a
	Araxá	308,42 a
	Bayóvar	309,43 a
	ST	350,54 a
----- P de parte aérea (µg/rizotubo) -----		
Baixo	Controle	18,27 d
	Araxá	91,59 c
	Bayóvar	317,42 b
	ST	707,37 a
Médio	Controle	190,96 c
	Araxá	250,53 c
	Bayóvar	493,37 b
	ST	972,21 a
----- P de raiz (µg/rizotubo) -----		
Baixo	Controle	18,42 d
	Araxá	70,20 c
	Bayóvar	146,41 b
	ST	223,84 a
Médio	Controle	95,82 c
	Araxá	153,64 b
	Bayóvar	207,44 ab
	ST	257,26 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 23A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		----- N de parte aérea ($\mu\text{g dm}^{-3}$) -----
Baixo	Controle	68,81 b
	Araxá	-
	Bayóvar	1004,70 a
	ST	1129,48 a
Médio	Controle	446,24 b
	Araxá	-
	Bayóvar	1086,82 a
	ST	1304,49 a
----- N de raiz ($\mu\text{g dm}^{-3}$) -----		
Baixo	Controle	337,74
	Araxá	-
	Bayóvar	768,746
	ST	840,14
Médio	Controle	731,24
	Araxá	-
	Bayóvar	853,35
	ST	986,81
-- Ca (planta + solo) com planta (mg/rizotubo) --		
Baixo	Controle	3,9229 c
	Araxá	4,7633 b
	Bayóvar	6,0309 a
	ST	5,5910 a
Médio	Controle	4,8495 b
	Araxá	5,1787 b
	Bayóvar	6,2831 a
	ST	6,3384 a
-- P (planta + solo) com planta (mg/rizotubo) ---		
Baixo	Controle	0,0590 d
	Araxá	0,2019 c
	Bayóvar	0,7456 b
	ST	1,5494 a
Médio	Controle	0,4962 d
	Araxá	0,6574 c
	Bayóvar	1,3226 b
	ST	2,1478 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 24A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função das fontes de P dentro de cada teor inicial de P antes do transplântio das plântulas (T₀)

Teor inicial de P	Fonte de P	Média geral
		----- Ca ²⁺ (mg dm ⁻³) no T ₀ -----
Baixo	Controle	494,45 b
	Araxá	470,90 b
	Bayóvar	485,28 b
	ST	590,82 a
Médio	Controle	478,17 c
	Araxá	489,21 bc
	Bayóvar	507,34 b
	ST	618,52 a
		----- pH no T ₀ -----
Baixo	Controle	5,64 a
	Araxá	5,61 b
	Bayóvar	5,60 b
	ST	5,49 c
Médio	Controle	5,37 a
	Araxá	5,37 a
	Bayóvar	5,38 a
	ST	5,27 b
		----- P (mg dm ⁻³) no T ₀ -----
Baixo	Controle	1,65 d
	Araxá	5,29 c
	Bayóvar	23,38 b
	ST	191,21 a
Médio	Controle	31,65 d
	Araxá	40,32 c
	Bayóvar	60,26 b
	ST	249,12 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito da fonte de P dentro do teor de P inicial no solo.

Quadro 25A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- Matéria seca de raiz (mg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	51,6				
	Araxá	82,1 c	113,63 abc	149,7 a	133,4 ab	105,4 bc
	Bayóvar	79,1 b	139,4 a	131,9 ab	142,1 a	136,5 a
	ST	95,7 b	146,7 a	146,6 a	138,1 a	123,7 ab
Médio	Controle	102,9				
	Araxá	107,0 b	129,0 ab	156,7 a	156,0 a	133,2 ab
	Bayóvar	96,6 b	127,2 ab	149,3 a	148,3 a	148,9 a
	ST	104,6 b	151,1 ab	136,0 ab	182,8 a	151,0 ab
----- Matéria seca de parte aérea (mg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	51,8				
	Araxá	118,6 d	190,3 bc	257,6 a	231,0 ab	161,1 cd
	Bayóvar	143,4 b	256,5 a	269,0 a	266,7 a	239,1 ab
	ST	129,7 c	258,3 b	299,0 a	262,8 ab	237,3 b
Médio	Controle	128,3				
	Araxá	122,3 b	238,3 a	283,8 a	231,0 a	235,6 a
	Bayóvar	110,0 b	263,9 a	282,4 a	235,9 a	250,0 a
	ST	144,2 c	244,2 ab	313,0 a	235,4 b	245,1 ab
----- pH do solo com planta -----						
Baixo	Controle	5,48				
	Araxá	5,48 a	5,23 b	5,07 c	5,19 b	5,43 a
	Bayóvar	5,78 a	5,44 b	5,27 c	5,42 b	5,65 a
	ST	5,43 a	5,12 b	5,04 c	5,14 b	5,36 a
Médio	Controle	5,29				
	Araxá	5,39 a	5,18 b	5,06 b	5,16 b	5,36 a
	Bayóvar	5,66 a	5,38 b	5,26 c	5,38 b	5,60 a
	ST	5,35 a	5,14 bc	5,00 c	5,15 b	5,34 a
----- pH do solo sem planta -----						
Baixo	Controle	5,63				
	Araxá	5,69 b	5,76 ab	5,75 ab	5,81 a	5,57 c
	Bayóvar	5,80 a	5,77 ab	5,74 ab	5,83 a	5,68 b
	ST	5,70 a	5,72 a	5,69 a	5,73 a	5,54 b
Médio	Controle	5,30				
	Araxá	5,42 a	5,19 b	5,17 b	5,44 a	5,30 ab
	Bayóvar	5,58 ab	5,50 bc	5,42 c	5,65 a	5,52 abc
	ST	5,39 ab	5,30 bc	5,20 c	5,45 a	5,33 b

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 26A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
Baixo		----- Ca ²⁺ do solo com planta (mg dm ⁻³) -----				
	Controle	343,77				
	Araxá	336,63 a	358,94 a	352,91 a	362,36 a	335,48 a
	Bayóvar	439,18 ab	479,01 a	471,59 a	460,58 ab	420,98 b
	ST	369,76 a	399,05 a	400,26 a	410,29 a	401,47 a
Médio	Controle	340,83				
	Araxá	361,25 a	359,05 a	377,37 a	351,59 a	382,36 a
	Bayóvar	449,24 ab	477,96 ab	487,90 a	463,84 ab	438,64 b
	ST	412,28 b	411,60 b	407,30 b	427,25 b	573,04 a
		----- Ca ²⁺ do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle	463,89				
	Araxá	450,92 a	405,83 ab	392,02 b	413,60 ab	427,93 ab
	Bayóvar	576,03 a	580,70 a	528,89 bc	516,13 c	565,69 ab
	ST	557,18 a	492,98 ab	440,32 b	473,76 ab	503,42 ab

Médio	Controle	421,89				
	Araxá	418,85 a	396,80 a	401,31 a	407,30 a	434,33 a
	Bayóvar	529,99 a	521,12 a	519,70 a	512,30 a	525,32 a
	ST	497,91 a	502,69 a	534,40 a	549,52 a	554,30 a
		----- Mg ²⁺ do solo com planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle	56,49				
	Araxá	48,14 b	47,62 bc	39,27 c	40,32 bc	78,49 a
	Bayóvar	41,23 ab	33,25 ab	29,47 b	36,59 ab	64,82 a
	ST	46,31 b	33,71 c	33,55 c	37,75 bc	68,78 a

Médio	Controle	53,92				
	Araxá	52,24 b	42,32 b	43,05 b	42,05 b	88,46 a
	Bayóvar	55,34 ab	38,96 b	38,57 b	40,53 b	77,49 a
	ST	60,27 b	42,16 c	41,53 c	43,42 c	88,62 a
		----- Mg ²⁺ do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle	72,03				
	Araxá	70,82 b	64,47 b	66,47 b	65,94 b	115,66 a
	Bayóvar	73,03 bc	75,97 b	66,15 dc	64,37 d	119,39 a
	ST	79,75 b	75,55 bc	63,68 c	71,30 bc	120,96 a

Médio	Controle	74,97				
	Araxá	71,82 b	76,60 b	75,23 b	73,24 b	124,53 a
	Bayóvar	81,64 b	74,81 b	77,18 b	77,07 b	121,49 a
	ST	83,16 ab	78,96 ab	70,19 b	76,65 ab	116,71 a

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 27A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
		----- NH ₄ ⁺ do solo com planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle Araxá	0,00				
	Bayóvar	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
	ST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Médio	Controle Araxá	0,00				
	Bayóvar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		----- NH ₄ ⁺ do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle Araxá	0,00				
	Bayóvar	3,46 c	29,05 b	86,95 a	34,71 ab	2,10 c
	ST	13,37 b	59,30 a	86,15 a	67,87 a	15,93 b
Médio	Controle Araxá	0,00				
	Bayóvar	0,00 d	23,04 c	59,50 a	39,97 b	0,00 d
	ST	2,33 c	30,00 ab	51,94 a	44,78 a	9,62 bc
		----- NO ₃ ⁻ do solo com planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle Araxá	2,59 a				
	Bayóvar	2,43 a	4,36 a	3,34 a	3,17 a	2,24 a
	ST	2,98 a	4,02 a	1,37 a	2,39 a	2,98 a
Médio	Controle Araxá	3,85 a				
	Bayóvar	3,26 a	3,41 a	3,75 a	3,73 a	2,25 a
	ST	3,52 a	5,25 a	1,86 a	2,47 a	2,95 a
		----- NO ₃ ⁻ do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----				
Baixo	Controle Araxá	12,94				
	Bayóvar	17,18 bc	26,22 b	29,53 b	12,38 c	84,07 a
	ST	12,36 b	11,06 b	10,24 b	9,49 b	48,35 a
Médio	Controle Araxá	28,07				
	Bayóvar	47,23 ab	41,41 b	52,85 ab	44,98 b	87,32 a
	ST	37,79 b	53,15 ab	60,91 ab	39,71 b	80,40 a

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 28A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- P do solo com planta (mg dm ⁻³) -----						
Baixo	Controle	2,23				
	Araxá	2,67 c	2,84 c	3,60 bc	5,39 ab	5,61 a
	Bayóvar	32,35 a	30,87 a	26,48 a	27,45 a	23,48 a
	ST	60,69 ab	60,37 ab	64,00 a	71,55 a	52,78 b
Médio	Controle	20,94				
	Araxá	27,38 a	25,39 a	23,69 a	24,03 a	26,12 a
	Bayóvar	64,60 a	63,00 a	60,90 a	64,53 a	57,88 a
	ST	95,54 a	93,43 a	88,06 a	85,44 a	96,67 a
----- P do solo sem planta (mg dm ⁻³) -----						
Baixo	Controle	5,66				
	Araxá	0,00 c	8,39 a	0,00 c	2,37 b	0,00 c
	Bayóvar	24,61 b	46,23 a	31,68 ab	27,86 ab	28,10 ab
	ST	87,13 a	99,22 a	79,24 a	75,98 a	82,84 a
Médio	Controle	26,64				
	Araxá	27,01 b	51,34 a	30,54 ab	25,67 b	23,18 b
	Bayóvar	53,77 bc	68,72 ab	80,78 a	63,02 ab	46,59 c
	ST	99,02 a	121,15 a	145,20 a	125,34 a	115,59 a
----- Ca de parte aérea (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	404,65				
	Araxá	804,43 a	788,31 a	1095,68 a	1078,57 a	816,32 a
	Bayóvar	1051,41 a	1025,17 a	1035,51 a	1173,99 a	952,35 a
	ST	847,79 a	1269,44 a	1111,16 a	1184,07 a	1201,52 a
Médio	Controle	906,04				
	Araxá	771,74 b	1038,28 ab	993,33 ab	1061,74 a	1244,27 a
	Bayóvar	832,46 c	1061,93 bc	1263,51 ab	1130,56 abc	1425,51 a
	ST	1098,18 a	1404,33 a	1339,85 a	1431,65 a	1477,77 a
----- Ca de raiz (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	203,05				
	Araxá	273,04 b	368,16 ab	313,55 ab	414,19 ab	493,91 a
	Bayóvar	348,50 a	570,93 a	297,98 a	470,80 a	601,19 a
	ST	481,86 a	490,61a	334,95 a	589,54 a	523,30 a
Médio	Controle	520,50				
	Araxá	559,81 a	459,40 a	358,95 a	501,68 a	563,53 a
	Bayóvar	561,92 ab	376,36 bc	345,80 c	527,24 abc	755,22 a
	ST	556,09 ab	490,02 b	334,93 c	652,66 ab	734,00 a

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 29A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- Mg de parte aérea (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	181,73				
	Araxá	244,58 b	348,96 ab	644,75 a	480,06 ab	495,46 ab
	Bayóvar	358,75 a	609,71 a	716,61 a	665,40 a	616,01 a
	ST	298,78 b	688,89 a	696,71 a	703,23 a	748,59 a
Médio	Controle	348,10				
	Araxá	286,87 b	703,51 a	783,25 a	763,01 a	881,30 a
	Bayóvar	312,34 b	758,37 a	990,35 a	772,82 a	860,90 a
	ST	412,81 b	960,86 a	955,98 a	839,78 ab	923,34 a
----- Mg de raiz (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	126,25				
	Araxá	140,46 b	166,95 b	263,33 a	202,83 ab	257,53 a
	Bayóvar	159,61 a	308,73 a	208,97 a	266,90 a	394,72 a
	ST	189,69 b	258,62 ab	220,71 ab	307,94 a	274,88 ab
Médio	Controle	363,07				
	Araxá	361,35 a	271,16 a	265,52 a	302,64 a	341,45 a
	Bayóvar	315,33 a	207,67 ab	263,69 ab	374,65 a	385,79 a
	ST	361,86 a	366,25 a	265,63 b	350,70 ab	408,25 a
----- P de parte aérea (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	18,27				
	Araxá	71,12 a	81,35 a	119,90 a	101,57 a	84,03 a
	Bayóvar	416,36 a	331,25 a	227,51 a	352,57 a	259,39 a
	ST	654,01 ab	771,12 a	789,89 a	839,19 a	482,64 b
Médio	Controle	190,96				
	Araxá	232,40 a	262,64 a	226,32 a	304,59 a	226,70 a
	Bayóvar	391,50 b	535,90 ab	493,51 ab	637,10 a	408,82 b
	ST	749,96 a	1145,39 a	1094,58 a	1118,85 a	752,26 a
----- P de raiz (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	18,42				
	Araxá	35,26 b	71,23 ab	107,03 a	67,83 ab	69,64 ab
	Bayóvar	89,07 b	188,53 a	149,28 ab	158,80 ab	146,35 ab
	ST	144,90 c	239,16 ab	240,86 ab	315,12 a	179,18 bc
Médio	Controle	95,82				
	Araxá	138,67 a	135,17 a	189,88 a	165,94 a	138,53 a
	Bayóvar	156,34 a	161,44 a	241,76 a	250,37 a	227,31 a
	ST	173,78 a	308,08 a	244,55 a	288,07 a	271,83 a

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 30A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo. Para Ca e P é mostrado a quantidade do nutriente imobilizado no tecido vegetal e aquele disponível no solo, sendo P avaliado pelo extrator resina aniônica

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- N de parte aérea (µg/rizotubo) -----						
Baixo	Controle	68,81				
	Araxá					
	Bayóvar	606,35 a	960,40 a	1307,49 a	1161,99 a	987,02 a
	ST	601,06 c	1161,09 b	1602,47 a	1188,99 b	1093,79 b
	Controle	446,24				
	Araxá					
Médio	Bayóvar	411,82 b	1217,93 a	1401,76 a	1168,92 a	1233,66 a
	ST	648,96 c	1348,05 ab	2008,53 a	1357,34 ab	1159,58 bc
	----- N de raiz (µg/rizotubo) -----					
Baixo	Controle	337,74				
	Araxá					
	Bayóvar	536,62	701,15	1319,44	696,62	589,90
	ST	503,79	841,63	1001,87	989,80	863,61
	Controle	731,24				
	Araxá					
Médio	Bayóvar	532,54	718,18	871,75	1065,64	1078,64
	ST	535,90	1096,26	1081,45	1119,23	1101,21
	----- Ca (planta + solo) com planta (mg/rizotubo) -----					
Baixo	Controle	3,9229				
	Araxá	4,4256 b	4,8007 ab	4,9484 a	5,0712 a	4,5708 ab
	Bayóvar	5,7665 a	6,2364 a	6,0592 a	6,1787 a	5,9138 a
	ST	4,9892 a	5,7347 a	5,4312 a	5,9379 a	5,8618 a
	Controle	4,8495				
	Araxá	4,9156 a	5,0635 a	5,1932 a	5,1110 a	5,6102 a
Médio	Bayóvar	5,8107 b	6,2501 ab	6,4197 ab	6,3338 ab	6,6012 a
	ST	5,8671 b	6,0475 b	5,7012 b	6,0890 b	7,9875 a
	----- P (planta + solo) com planta (mg/rizotubo) -----					
Baixo	Controle	0,0590				
	Araxá	0,1340 c	0,1809 bc	0,2629 a	0,2233 ab	0,2080 ab
	Bayóvar	0,8281 a	0,8285 a	0,6416 a	0,7893 a	0,6406 a
	ST	1,4059 bc	1,6140 ab	1,6708 ab	1,8698 a	1,1866 c
	Controle	0,4962				
	Araxá	0,6449 a	0,6517 a	0,6531 a	0,7108 a	0,6265 a
Médio	Bayóvar	1,1938 b	1,3273 b	1,3443 b	1,5327 a	1,2150 b
	ST	1,8791 b	2,3878 a	2,2198 ab	2,2613 ab	1,9908 ab

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.

Quadro 31A. Comparação da diferença proporcionada em cada variável em função da fonte de N combinada com cada fonte de P dentro do teor inicial de P no solo antes do transplântio das plântulas (T₀)

P inicial no solo	Fonte de P	Fonte de N (mg dm ⁻³)				
		0	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻
			70	140	70 _{DCD}	70
----- Ca ²⁺ (T ₀) (mg dm ⁻³) -----						
Baixo	Controle	494,45				
	Araxá	498,75 a	468,62 a	456,44 a	459,01 a	471,66 a
	Bayóvar	510,72 a	469,98 c	499,54 ab	466,41 c	479,76 bc
	ST	594,14 a	600,23 a	594,41 a	586,37 a	578,97 a
Médio	Controle	478,17				
	Araxá	490,25 a	496,44 a	490,88 a	492,45 a	476,02 a
	Bayóvar	497,33 a	504,42 a	510,25 a	508,31 a	516,39 a
	ST	656,09 a	578,08 b	620,55 ab	619,76 ab	618,14 ab
----- pH (T ₀) -----						
Baixo	Controle	5,64				
	Araxá	5,64 a	5,65 a	5,64 a	5,66 a	5,47 b
	Bayóvar	5,64 a	5,65 a	5,61 a	5,64 a	5,45 b
	ST	5,53 a	5,51 a	5,50 a	5,51 a	5,38 b
Médio	Controle	5,37				
	Araxá	5,38 a	5,41 a	5,40 a	5,40 a	5,27 b
	Bayóvar	5,39 a	5,40 a	5,42 a	5,41 a	5,27 b
	ST	5,26 ab	5,31 a	5,30 a	5,28 ab	5,22 b

Médias seguidas de letras iguais na linha dentro de cada nível e fonte de P não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey e comparam o efeito do N.