

Fontes de P Associadas à Rizobactérias no Desenvolvimento Radicular do Milho: Área e Diâmetro

Danilo Pinceli Chaves¹, Claudemir Zucareli², Adilson de Oliveira Junior³, Lucas Costa Balan⁴ e Lenon Augusto do Prado⁴

⁽¹⁾ Engº agrônomo, M.Sc., Nidera Sementes, Supervisor Desenvolvimento Produtos, Lucas do Rio Verde-MT – dchaves@nidera.com.br; ⁽²⁾ Prof. Dr. Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, Caixa Postal: 6001 CEP: 86051-990, Londrina-PR – claudemircca@uel.br; ⁽³⁾ Pesquisador Dr., Embrapa Soja, Rod. Carlos João Strass, km 5, Caixa Postal: 231 CEP 86001-970, Londrina-PR – adilson@cnpso.embrapa.br; ⁽⁴⁾ Graduandos do curso de Agronomia pela Universidade Filadélfia, Londrina-PR

RESUMO – O estudo teve como objetivo avaliar o efeito de fosfatos solúveis e naturais associados à inoculação de rizobactérias do gênero *Pseudomonas* via sementes, no desenvolvimento radicular de plantas de milho. O experimento foi realizado em casa de vegetação cujo delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x3, com quatro repetições. Foram aplicados 50 mg kg⁻¹ de P via solo por meio de cinco fontes: Superfosfato Triplo (SFT), Fosfato Natural Gafsa (reativo), Fosfato Natural Itafós (não reativo), SFT+Gafsa e SFT+Itafós, além do tratamento controle (sem P). Estas fontes foram associadas a três níveis de inoculação: sem inoculação, estirpe A (*Burkholderiapickettii* GN 2214) e a estirpe B (*Pseudomonassp.* do grupo Fluorescente P21). Em quatro camadas do solo (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) avaliou-se a área radicular (AR) e o diâmetro radicular (DR). A aplicação de SFT, SFT+Gafsa e SFT+Itafós favoreceu a AR e o DR. O fosfato de Gafsa foi superior ao Itafós para AR e DR. A inoculação das rizobactérias via semente não alterou a AR. As estirpes GN 2214 e P21 favoreceram o DR na camada 10-20 cm. As combinações de fosfatos solúveis com os naturais proporcionam o desenvolvimento radicular devido à maior disponibilização de P.

Palavras-chave: *Zea mays* L., fosfato, promoção de crescimento, massa seca de raiz.

Introdução

Segundo Mollier & Pellerin (1999) a deficiência fosfatada afeta o crescimento da raiz devido ao efeito da divisão do carbono entre parte aérea e raiz. A absorção de P é dependente do comprimento, diâmetro e da área superficial radicular em contato com o solo (ANGHINONI & BARBER, 1980). Os fosfatos totalmente acidulados liberam o P de forma imediata ao serem aplicados no solo. Fosfatos naturais sendo insolúveis necessitam de tempo para realizar a dissolução de P, e atingem um equilíbrio no solo. O fosfato reativo de Gafsa possui origem sedimentar, podendo atingir eficiência agrônômica semelhante aos superfosfatos a longo prazo (SOUSA & LOBATO, 2003). O fosfato Itafós também é sedimentar, embora não reativo. Os fosfatos de Gafsa e Itafós quando combinado com fosfatos solúveis, pode ser uma alternativa para diminuição dos custos de produção. As Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs) atuam na promoção de crescimento de plantas e na solubilização de fosfatos inorgânicos, por meio da excreção de ácidos orgânicos e da colonização rizosférica (BOLAN et al., 1997) associadas numa relação

não simbiótica (SOTTERO, 2003). Estas rizobactérias afetam também a arquitetura de raiz pelo aumento do número dos pêlos radiculares, comprimento total e de ramificações (HARTHMANN et al., 2010), em consequência da produção de hormônios vegetais ou reguladores do crescimento vegetal melhorando assim, a nutrição mineral de plantas (GAMALERO et al., 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar a área radicular de plantas de milho, em diferentes profundidades, em função de fontes de fosfatos solúveis e naturais associados à rizobactérias do gênero *Pseudomonas*.

Material e Métodos

O experimento foi realizado sob condições controladas de casa de vegetação, na Embrapa Soja, Distrito de Warta, localizada à 23°11'37" S e 51°11'03" W, 630 m de altitude, Londrina-PR. O delineamento foi de blocos casualizados em esquema fatorial 6x3 (seis fontes e três níveis de inoculação), com quatro repetições. Foram avaliadas seis fontes de P: controle (sem P), Superfosfato Triplo – SFT (solúvel), fosfato de Gafsa (natural reativo de origem sedimentar), fosfato Itafós (natural não reativo de origem sedimentar), SFT+Gafsa e SFT+Itafós. O P foi aplicado na dose de 50 mg kg⁻¹ de P via solo, sendo que nas misturas (SFT+Gafsa e SFT+Itafós), utilizou-se 25 mg kg⁻¹ de P para cada fonte do nutriente. As fontes fosfatadas foram associadas com três níveis de inoculação via sementes de bactérias do gênero *Pseudomonas*: (sem inoculação, estirpe A (*Burkholderia pickettii* GN 2214) e estirpe B (*Pseudomonas* sp. do grupo Fluorescente P21). A concentração de P₂O₅ total e solubilidades em H₂O, citrato neutro de amônio + H₂O (CNA+ H₂O) e ácido cítrico a 2% (A.C.) das fontes de P utilizadas são apresentados na Tabela 1. Para fins de cálculo, utilizou-se o teor de P total das fontes. O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006). Antes da aplicação dos tratamentos, realizou-se uma amostra composta para a caracterização química e física do solo, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. Com base nos resultados da análise química, realizou-se a correção do solo. Os vasos corresponderam a tubos de cloreto de polivinila (PVC) com dimensões de 14,3 cm de diâmetro e 50 cm de altura, que foram preenchidos com o solo, e os tratamentos aplicados. Aplicou-se para a correção dos macronutrientes 100 mg kg⁻¹ de N na forma de (NH₄)₂SO₄ e 100 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl. Cada tubo, composto por 50 cm de altura, foi preenchido até 20 cm com solo sem adubação (camada 20-40 cm). O restante, simulando a camada de 0-20 cm (4 dm³ de solo), foi misturado com cada fonte de fosfato e demais macronutrientes. A dose dos inoculantes (turfosos) foi de 500 gramas por 50 mil sementes de milho. Para melhor aderência do inoculante, utilizou-se solução açucarada a 10% autoclavada, 5 mL kg⁻¹ de

semente. O híbrido utilizado foi o Balu 761. Foram semeadas em cada vaso seis sementes de milho (não tratadas com fungicidas e inseticidas), com emergência das plântulas aos quatro dias após a semeadura (DAS). Uma semana após a emergência foi realizado o desbaste, deixando duas plantas por vaso. O segundo desbaste foi realizado aos 15 DAE, deixando uma planta por vaso. Aos 16 DAE aplicou-se uma solução de micronutrientes composta por $\text{MnSO}_4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$, $\text{CuSO}_4(5\text{H}_2\text{O})$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}(4\text{H}_2\text{O})$, H_3BO_3 e FeSO_4 , nas doses 10, 10, 5, 1, 0,5 e 10 mg kg^{-1} , respectivamente. A adubação de cobertura foi realizada no estágio V_4 com aplicação de 25 mg kg^{-1} de N e de K, nas formas de ureia e de cloreto de potássio, respectivamente. No florescimento masculino, o experimento foi encerrado e os vasos desmontados, com separação do solo em quatro camadas de 10 cm (0-10, 10-20, 20-30, 30-40). Após separadas com o auxílio de pinça e peneiras, as raízes foram armazenadas para posterior análise da área radicular (**AR**) e diâmetro radicular (**DR**). As raízes foram lavadas, e secas em estufa por 48 h à 65°C. Posteriormente, cada amostra foi escaneada pelo equipamento HP-C7670A. Com auxílio do programa Adobe Photoshop CS5, foi realizado um contraste entre a raiz e o fundo da imagem, permitindo assim, que o programa Delta-T Scan diferenciasse o objeto analisado. Este programa é capaz de calcular estas variáveis por meio de algoritmos. O programa expressou a AR em cm^2 e o DR em mm. As análises foram realizadas conforme a metodologia do manual do equipamento (KIRCHHOF & PENDAR, 1993). Os dados foram submetidos à análise de variância, independentemente para cada camada de solo, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os tratamentos constituídos por SFT (SFT, SFT+Gafsa e SFT+Itafós) proporcionaram maior AR em todas as camadas analisadas em relação às fontes naturais isoladas e o controle. A aplicação do fosfato de Gafsa apresentou resultado superior de AR em relação ao Itafós e ao controle para as camadas de 0-10 e 20-30 cm (Figura 1.A e 1.C). Entretanto, igualou-se ao Itafós nas camadas de 10-20 cm e 30-40 cm (Figura 1.B e 1.D). O Gafsa isolado produziu 35, 36 e 40% da AR em relação à SFT, SFT+Gafsa e SFT+Itafós, respectivamente, na camada 0-10 cm (Figura 1.A). Devido à sua reatividade, o fosfato de Gafsa forneceu maior P à solução do solo, proporcionando maior AR na camada 0-10 cm que o fosfato Itafós. Quando combinado com o P solúvel, as fontes dos fosfatos naturais (SFT+Gafsa e SFT+Itafós) proporcionaram aumentos médios (para as quatro camadas) de 189% para o Gafsa e 1454% para o Itafós, respectivamente. O híbrido utilizado apresentou potencial na absorção de P pela fonte SFT isolada e associada aos naturais (Figura 1.A, 1.B, 1.C e 1.D). Observando estes

incrementos, pode-se afirmar que o maior teor de P no solo (0-40 cm) foi determinante para o aumento da AR.

Não houve efeito significativo da inoculação com rizobactérias nas sementes de milho para AR. Há variações nos benefícios fornecidos pelas rizobactérias promotoras de crescimento conforme a condição do meio ambiente, da planta e do solo em que ela se encontra.

Os tratamentos SFT, SFT combinado com os fosfatos naturais e o fosfato de Gafsa isolado apresentaram, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, maior DR que o fosfato Itafós e o controle (Figura 2.A e 2.B). Nas camadas 20-30 e 30-40 cm o SFT+Itafós resultou em maior DR que os fosfatos naturais e o controle, contudo, não diferiu dos demais tratamentos contendo fosfato solúvel. Sob escassez de assimilados durante a deficiência fosfatada, o comportamento das plantas em reduzir o DR, parece ser um mecanismo para aumentar a área radicular por unidade de massa, melhorando a absorção de P para a parte aérea. Desta forma, os menores DR observados nos dados (Figura 1.A, 1.B, 1.C e 1.D) foram respostas da planta à severa deficiência de P, buscando aumentos na área radicular para suprir esta demanda. A inoculação de P21 proporcionou maior DR que a inoculação de GN 2214, contudo foi semelhante ao controle (Figura 3). Observa-se que o aumento significativo para DR na camada 20-30 cm foi entre as rizobactérias, não envolvendo o controle. P21 mostrou ser mais eficiente que GN 2214 em camadas mais profundas (20-30 cm). Houve interação entre fontes de P e níveis de inoculação de rizobactérias do gênero *Pseudomonas* em plantas de milho para DR na camada de 10-20 cm, cujos desdobramentos são apresentados na Tabela 1. Na ausência de inoculação a fonte SFT+Itafós destacou-se quanto ao DR, sendo este tratamento superior ao controle e aos fosfatos naturais isolados. Na inoculação de GN 2214, o fosfato de Gafsa isolado resultou em maior DR que o Itafós e o controle. Quando com inoculação de P21, houve diferença estatística para os tratamentos Gafsa e SFT+Gafsa em relação ao controle e Itafós. Quando utilizado o fosfato de Gafsa as inoculações com GN 2214 e P21 foram superiores à não inoculação em relação ao DR. Quando o Gafsa foi associado ao SFT apenas a inoculação com P21 favoreceu o DR. Desta forma, os menores valores apresentados para DR estão relacionados com a baixa disponibilidade de P na solução do solo (Tabela 1). Os tratamentos Gafsa e SFT+Gafsa demonstraram maior compatibilidade com as rizobactérias inoculadas via sementes, visto que não houve efeito de inoculação nas demais fontes para DR. Este resultado evidencia o mecanismo de ação da rizobactéria, buscando maior absorção de P pela planta.

Conclusões

A aplicação de SFT, SFT+Gafsa e SFT+Itafós favoreceu a AR e o DR. O fosfato de Gafsa foi superior ao Itafós para AR e DR. A inoculação das rizobactérias via semente não AR. As estirpes GN 2214 e P21 favoreceram o DR na camada 10-20 cm. As combinações de fosfatos solúveis com os naturais proporcionam o desenvolvimento radicular devido à maior disponibilização de P à solução do solo.

Literatura Citada

ANGHINONI, I. BARBER, S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agronomy Journal*, Madison, v.72, p.685-688, 1980.

BOLAN, N. S. et al. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. *Biology and Fertility of Soils*, New York, v.24, p.169-174, 1997.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

GAMALERO, E. Morphogenetic modifications induced by *Pseudomonas fluorescens* A6RI and *Glomus mosseae* BEG12 in the root system of tomato differ according to plant growth conditions. *New Phytologist*, v.155, n.2, p.293-300, 2002.

HARTHMAN, O. E. L. et al. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.2, p.462-465, 2010.

KIRCHHOF, G.; PENDAR, K. Delta-TScan: user manual. 1993. Delta-T Devices Ltd. Cambridge, 1993. 260p.

MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.50, n.333, p.487-497, 1999.

SOTTERO, A. N. Colonização radicular e promoção de crescimento vegetal por rizobactérias. 2003. 62f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2003.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. Potafós - Piracicaba-SP, n.102, 2003, 16p. (Encarte Técnico – Informações Agrônomicas)

Tabela 1. Concentração de P₂O₅ total, solubilidades de P₂O₅ das fontes de P utilizadas em ácido cítrico a 2% (A.C.) relação 1:100, em citrato neutro de amônio + H₂O (CNA+H₂O) e em H₂O.

FONTE	TOTAL	H ₂ O	CNA+H ₂ O	A.C.
----- % P ₂ O ₅ -----				
SFT	45,00	37,00	41,00	40,40
GAFSA	29,58	0	6,51	10,00
ITAFÓS	23,17	0	-	5,50

Fonte: Prochnow, Alcarde e Chien (2004).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo da área experimental na profundidade 0-20 cm.

pH CaCl ₂	Areia	Silte	Argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	H+Al	V%	P*	C
----- g kg ⁻¹ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	g dm ⁻³
4,44	552,0	77,5	370,5	1,9	1,2	0,10	0,40	3,51	47,69	0,68	59,49

*Mehlich-1

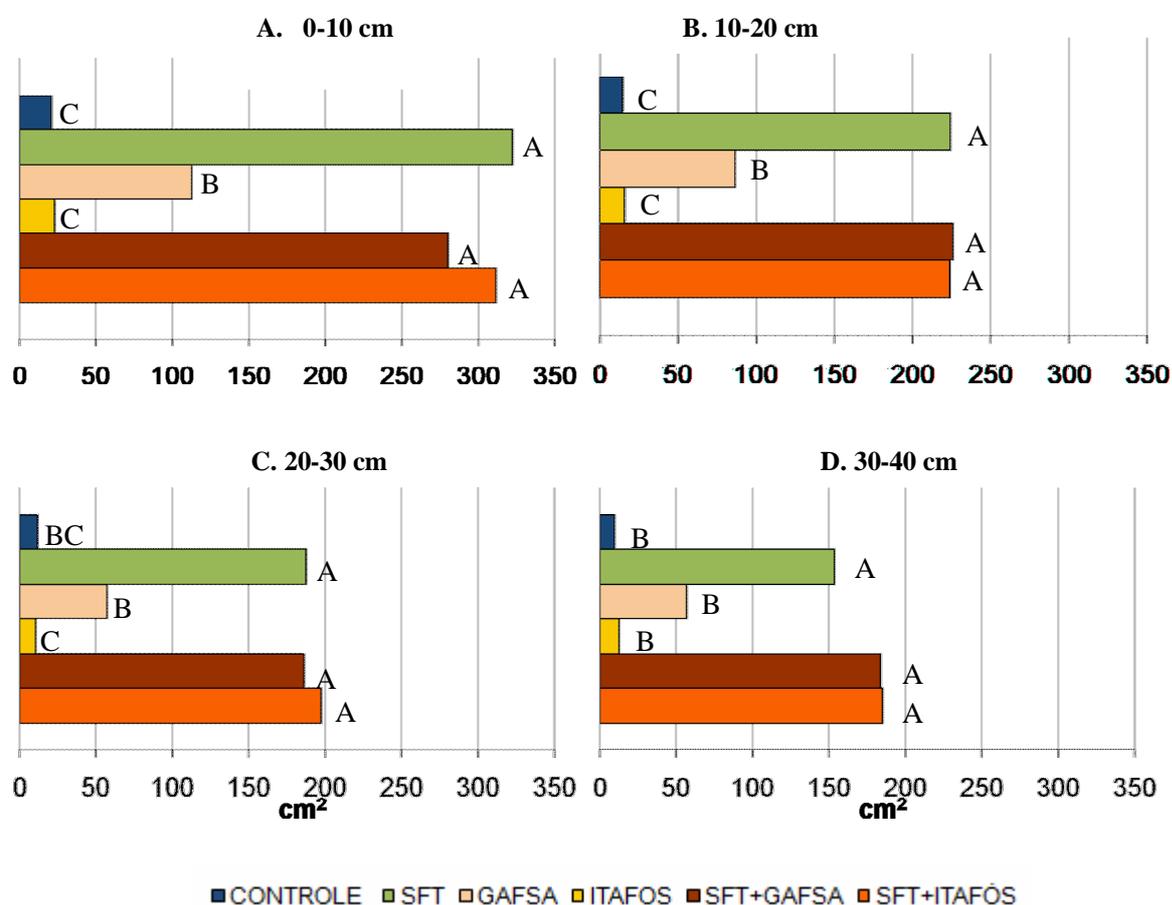


Figura 1. Dados médios de área radicular (AR) de plantas de milho em resposta às fontes fosfatadas para as camadas A. 0-10, B. 10-20, C. 20-30 e D. 30-40 cm. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey $p < 0,01$.

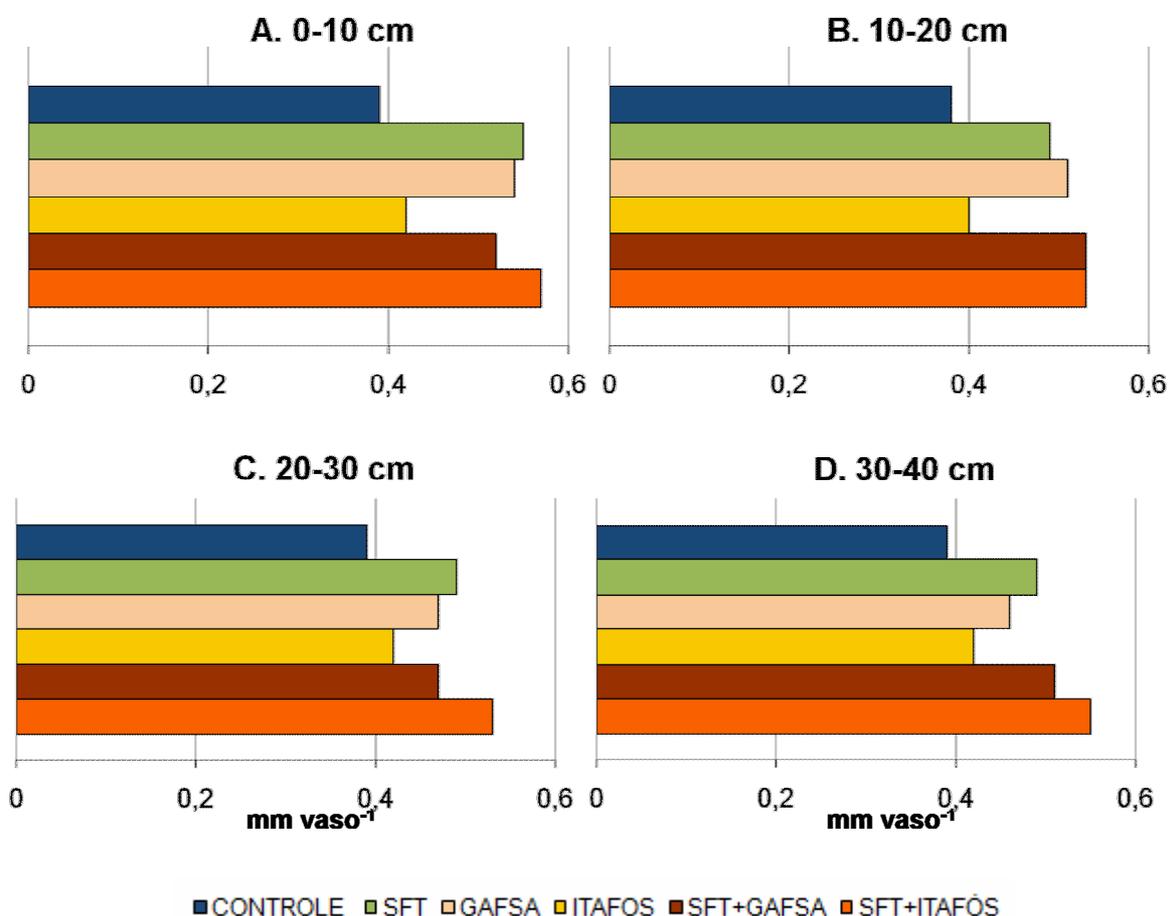


Figura 2. Dados médios de diâmetro radicular (DR) de plantas de milho em resposta às fontes fosfatadas para as camadas A. 0-10, B. 10-20, C. 20-30 e D. 30-40 cm. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey $p < 0,01$.

Tabela 1. Desdobramento da interação entre fontes de P e níveis de inoculação de rizobactérias do gênero *Pseudomonas* para diâmetro de raiz de milho (DR) na camada 10-20 cm.

FONTES DE P	DR		
	SEM	GN 2214	P21
CONTROLE	0,39 aB	0,38 aD	0,36 Ab
SFT	0,50 aAB	0,50 aABC	0,47 aAB
GAFSA	0,42 bB	0,55 aA	0,56 aA
ITAFOS	0,40 aB	0,41 aBC	0,39 aB
SFT+GAFSA	0,46 bAB	0,52 abAB	0,61 aA
SFT+ITAFÓS	0,57 aA	0,51 aABC	0,50 aAB

Média seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

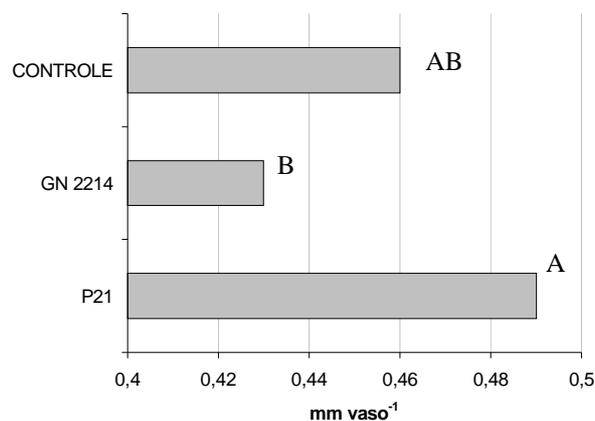


Figura3. Dados médios de diâmetro de raiz (DR) de plantas de milho na camada 20-30 cm em função de níveis de inoculação. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey $p < 0,05$.