

PRODUTIVIDADE E ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR PLANTAS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE ADUBO FOSFATADO EM SOLO DE TABULEIRO COSTEIRO⁽¹⁾

A. C. BARRETO⁽²⁾ & M. F. FERNANDES⁽²⁾

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de doses e modos de aplicação de P ao solo sobre a absorção e a eficiência de utilização do P foliar e a produtividade de milho (*Zea mays*) cultivado em um Argissolo Amarelo, característico dos tabuleiros costeiros. Avaliaram-se as doses de 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, distribuídas no sulco de plantio ou a lanço. O experimento foi realizado na estação chuvosa, de junho a setembro de 1998, no Campo Experimental de Umbaúba (Embrapa Tabuleiros Costeiros), no município de Umbaúba (SE). A adubação fosfatada a lanço resultou em maiores teores de P foliar das plantas de milho, comparativamente à adubação em sulco. Em virtude desta maior capacidade de absorção de P, as plantas adubadas a lanço produziram maior quantidade de grãos e apresentaram menor requerimento de adubos fosfatados para alcançar o máximo de produtividade. A eficiência de utilização do P foliar para produção de grãos de milho foi influenciada apenas pela dose de P, não sendo alterada pelo modo de adubação fosfatada. A partir da dose de 114,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅, os incrementos no teor de P foliar não resultaram em aumento da eficiência de utilização do P foliar para a produtividade de grãos. A avaliação da produtividade e a distribuição de raízes, realizadas apenas nos tratamentos com dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, revelaram que a adubação a lanço resultou em maior biomassa radicular e uma tendência em melhor distribuição destas raízes.

Termos de indexação: *Zea mays*, adubação fosfatada, métodos de adubação, eficiência de utilização de P, distribuição radicular.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Brasília (DF), de 11 a 16 de julho de 1999. Recebido para publicação em março de 2000 e aprovado em setembro de 2001.

⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Caixa Postal 44, CEP 49001-970 Aracaju (SE). E-mails: barreto@cpatc.embrapa.br; marcelo@cpatc.embrapa.br

SUMMARY: *YIELD AND PHOSPHORUS UPTAKE BY CORN PLANTS AS AFFECTED BY PHOSPHORUS FERTILIZER RATES AND PLACEMENT IN A COASTAL TABLELAND SOIL*

The objective of this study was to evaluate the effects of P rates and placement on P uptake, leaf P use efficiency (PUE), and grain yield of corn (Zea mays) grown in a Yellow Argissol soil, typical of the coastal tablelands. Rates of 0, 45, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅ were applied in either the rows or broadcast. The study was carried out during the rainy season, from June to September of 1998, at Umbaúba Experimental Station, at Umbaúba (SE), Brazil. Broadcast P fertilization resulted in higher leaf P concentration, compared to the row P fertilization. In response to this higher P uptake, broadcast-fertilized plants yielded more grains and presented a lesser requirement of P fertilizer to reach the highest productivity. PUE was affected by the P rates, but not by P placement. Increases of leaf P concentration in response to rates higher than 114.3 kg ha⁻¹ of P₂O₅ did not result in increases in PUE. Root evaluation, performed only at the rate of 90 kg ha⁻¹ of P₂O₅, showed that broadcast P fertilization resulted in higher root dry weight and in a better root distribution.

Index terms: Zea mays, phosphorus fertilization, fertilization methods, phosphorus use efficiency, root distribution.

INTRODUÇÃO

A localização do adubo fosfatado em relação às raízes das plantas é fator determinante para a absorção de P, crescimento e produtividade de muitas culturas (Borkert & Barber, 1985; Anghinoni, 1992; Silva et al., 1993).

A mistura do adubo fosfatado com maiores frações de solo tem, de modo geral, resultado em aumento da utilização dos fertilizantes fosfatados por plantas de milho (Novais et al., 1985; Anghinoni, 1992; Klepker & Anghinoni, 1996). Este aumento é atribuído ao contato entre a maior quantidade de raízes e o fertilizante fosfatado (Anghinoni & Barber, 1980; Klepker & Anghinoni, 1993), o que reduz as distâncias percorridas pelo P até às raízes. Em virtude da baixa mobilidade do P no solo, este contato raízes-P é determinante para a eficiência de utilização dos adubos fosfatados (Stryker et al., 1974).

No entanto, o volume de solo a ser adubado para otimizar a utilização de fertilizantes fosfatados depende da dosagem deste fertilizante (Anghinoni & Barber, 1980; Anghinoni, 1992). De acordo com esses autores, dosagens reduzidas devem ser aplicadas localizadamente, já que a diluição excessiva do P com o solo pode aumentar sua adsorção e a sua passagem para as formas não-lábeis. O efeito positivo desta localização do P em um volume restrito de solo será maior quanto maior for o fator capacidade de P (FCP) do solo (Anghinoni & Barber, 1980; Novais & Smyth, 1999).

Considerando que os solos de tabuleiros costeiros apresentam, de modo geral, baixos teores de óxidos

de ferro e de alumínio em superfície, bem como reduzidos teores de argila, comparativamente a diversos solos ácidos tropicais, acredita-se que a aplicação de P a lanço seja uma alternativa capaz de incrementar a eficiência de utilização dos adubos fosfatados, mesmo quando doses reduzidas forem usadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses e modos de aplicação de adubos fosfatados sobre a produtividade, sobre a absorção de P e sobre a eficiência de utilização do P foliar por plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado de junho a setembro de 1998, durante a estação chuvosa, em Campo Experimental da Embrapa - Tabuleiros Costeiros, localizado no município de Umbaúba (SE). A precipitação pluviométrica neste período foi de 912 mm, enquanto a média da região, nos últimos cinco anos, foi de 665 mm.

O solo da área utilizada foi classificado como Argissolo Amarelo, apresentando as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm de profundidade: pH em água (1:2,5) = 5,5; matéria orgânica (Jackson, 1958) = 30 g dm⁻³; P = 1 mg dm⁻³ e K = 25 mg dm⁻³, extraídos pelo Mehlich-1; Ca = 0,8 cmol_c dm⁻³ e Mg = 0,2 cmol_c dm⁻³, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; Al = 0,1 cmol_c dm⁻³, extraído com KCl 1 mol L⁻¹, e H + Al = 3,0 cmol_c dm⁻³, extraídos por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, tamponado em pH 7,0 (Silva et al., 1999). Os resultados da análise

granulométrica, pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997), foram os seguintes: areia muito grossa = 720,6 g kg⁻¹; silte = 229,4 g kg⁻¹ e argila = 50,0 g kg⁻¹. De acordo com estes resultados, atribuiu-se a este solo a classificação textural de franco arenoso.

Os tratamentos consistiram de um arranjo fatorial 5 x 2, avaliando-se cinco doses de P (0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅), adicionadas ao solo de duas formas distintas: no sulco de plantio ou a lanço. Estes tratamentos foram dispostos de acordo com um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela experimental abrangeu uma área total de 43,2 m² (5,4 x 8 m), com seis linhas espaçadas de 0,9 m. A parcela útil foi composta pelas plantas das quatro linhas centrais da parcela total, descontado 1 m de cada extremidade destas linhas.

Em maio, 40 dias antes do plantio, a área recebeu 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 80%, incorporado até, aproximadamente, 20 cm de profundidade. A necessidade de calagem foi determinada de acordo com o método da neutralização do alumínio e elevação de cálcio e magnésio.

A adubação fosfatada foi feita imediatamente antes do plantio do milho com superfosfato triplo. Nos tratamentos com adição de P a lanço, o fertilizante foi distribuído manualmente e incorporado até cerca de 20 cm de profundidade, utilizando duas gradagens. Nas demais parcelas, o superfosfato triplo foi adicionado no fundo do sulco de plantio, a cerca de 10 cm de profundidade.

Independentemente da forma com que o P foi adicionado ao solo, as adubações de plantio para fornecimento de N e K também foram feitas no fundo do sulco.

O K foi fornecido na forma de KCl, em quantidade equivalente a 75 kg ha⁻¹ de K₂O, e o N, como sulfato de amônio, em quantidade equivalente a 80 kg ha⁻¹. A aplicação desses fertilizantes foi feita em duas parcelas, sendo a primeira realizada no sulco de plantio, utilizando 1/3 da dosagem total, e a segunda, em cobertura, 1 mês após o plantio, utilizando os 2/3 restantes.

Três sementes de milho (variedade Sertanejo) foram plantadas a cada espaço de 40 cm dentro da linha. Após 25 dias do plantio, procedeu-se ao desbaste do experimento, deixando-se duas plantas por cova, com vistas em obter uma população final aproximada de 55.500 plantas ha⁻¹.

Os teores de P nas plantas de milho foram determinados de acordo com Malavolta et al. (1989), utilizando o terço mediano das folhas +4 de 12 plantas por parcela, amostradas no início da emissão das inflorescências femininas, 62 dias após emergência.

Para avaliar o efeito das formas de adição do P ao solo sobre a distribuição lateral das raízes de

milho na camada arável, retiraram-se amostras de solo perpendicularmente à linha de plantio, a cada 10 cm, até uma distância de 50 cm das plantas, de ambos os lados do sulco. A largura destas amostras foi de 25 cm e a profundidade de 20 cm. Apenas as parcelas que receberam dose de P equivalente a 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram amostradas. Para esta variável, os tratamentos consistiram de um arranjo fatorial 5 x 2, avaliando-se cinco distâncias em relação à planta (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm) e os dois métodos de aplicação do P no solo.

A eficiência de utilização do P (EUP) pelas plantas foi empregada para expressar a produtividade de grãos por planta em relação a uma unidade percentual de P na matéria seca de folhas. O uso desta variável foi adaptado de Siddiqi & Glass (1981), que empregaram a razão entre produtividade de folha e teor de nutriente foliar para determinar a eficiência de utilização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P foliar foram influenciados tanto pelas doses quanto pelo modo de adubação com P, não tendo sido observado efeito significativo da interação dos dois fatores sobre esta variável (Quadro 1). Para ambos os modos de aplicação do P, observaram-se incrementos lineares dos teores foliares deste nutriente em resposta às doses de P₂O₅ no solo (Figura 1). Após avaliação da homogeneidade dos coeficientes de regressão (Gomez & Gomez, 1976), observou-se que os coeficientes lineares das equações de resposta das plantas às doses crescentes de P₂O₅ em cada um dos métodos de adição de P ao solo diferiram pelo teste-t, a 5%.

Por ter sido essa resposta mais acentuada para as plantas adubadas a lanço (Figura 1), concluiu-se que este modo de adubação fosfatada resultou em maior eficiência de absorção do P pelas plantas de milho, comparativamente à adubação em sulco. O aumento da absorção de P em consequência da incorporação do adubo fosfatado com um volume maior de solo tem sido relatado por diversos autores, que relacionam este efeito positivo ao maior comprimento de raízes em contato com o adubo fosfatado no solo (Anghinoni & Barber, 1980; Klepker & Anghinoni, 1993). Este efeito tenderá a ser mais expressivo com o aumento das doses de fertilizantes utilizadas ou com a redução do poder de adsorção de P do solo (Anghinoni & Barber, 1980).

Os resultados de teores foliares de P do presente estudo corroboram estas observações, já que, quanto menores as doses de P₂O₅ adicionadas ao solo, menor o benefício da adubação fosfatada a lanço, em relação à feita no sulco (Figura 1). No entanto, mesmo a adubação a lanço com doses reduzidas de P₂O₅ (50 kg ha⁻¹), que resultaria em grande diluição do

Quadro 1. Análise de variância da produtividade de grãos, do teor de P foliar e da eficiência de utilização do P (EUP) pelo milho considerando diferentes doses e forma de adição de P ao solo

F.V.	G.L.	Quadrado médio		
		Produtividade de grão	Teor de P foliar	EUP
Bloco	2	1.230.083,84*	0,0009667 ^{ns}	22.832,23 ^{ns}
Forma de adição do P (A)	1	2.064.007,20*	0,0048387**	1.840,83 ^{ns}
Dose de P (D)	4	13.325.225,70**	0,0131888**	124.540,75**
A x D	4	196.650,99 ^{ns}	0,0005743 ^{ns}	1.547,58 ^{ns}
Resíduo	18	252.491,76	0,0003773	4.939,97
Total	29			
C.V. (%)		18,31	10,51	23,92

** , * e ns: Significativos a 1 e 5% e Não-significativo, respectivamente, pelo teste F.

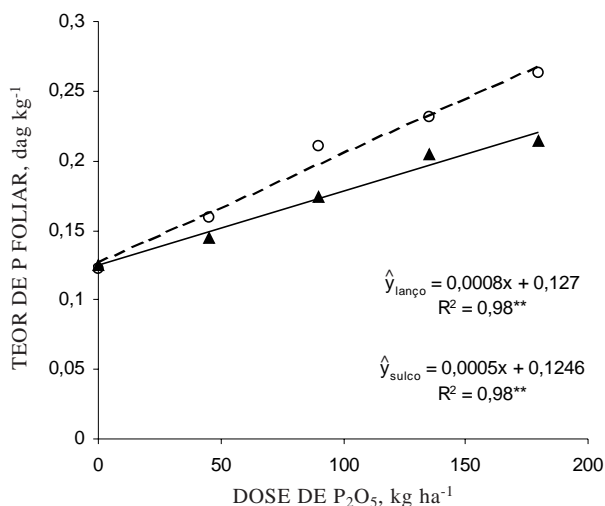


Figura 1. Teor de P em folhas de milho em resposta a doses de P₂O₅ adicionadas a lanço (---) e no sulco de plantio (—) em um solo de tabuleiro costeiro.

nutriente no solo e, conseqüentemente, em menor disponibilidade do nutriente em solução, propiciou uma absorção superior de P pelas plantas, comparativamente à adubação no sulco de plantio. Este efeito provavelmente está relacionado com a baixa capacidade de adsorção de P do solo em estudo, o que permitiu que, mesmo sob esta condição de grande diluição do adubo fosfatado, as concentrações de P em solução ainda fossem suficientes para prover P de modo mais eficiente do que a adubação em sulco.

Todavia, pela tendência de redução do efeito positivo da adubação a lanço observada com a redução das doses de P₂O₅, esperava-se que, para este mesmo solo, a aplicação em sulco de doses de P inferiores a 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ produzisse uma eficiência de absorção maior ou equivalente à obtida na adubação a lanço.

A produtividade de grãos apresentou, para ambos os modos de adubação, resposta quadrática às doses de P₂O₅ no solo (Figura 2). Plantas adubadas com P a lanço alcançaram maiores produtividades, refletindo a maior capacidade de absorção de P apresentada por elas, comparativamente às adubadas com P no sulco de plantio. Efeitos negativos da adubação localizada de P sobre a produtividade têm sido atribuídos, por alguns autores, à salinidade ou à toxicidade, resultantes das altas concentrações dos adubos fosfatados, o que afetaria a germinação das sementes (Miller et al., 1971) e o crescimento das raízes (Peryea, 1990).

Segundo as equações de regressão estimadas, a produtividade máxima de grãos obtida seria de 4.260 kg ha⁻¹, para uma aplicação de 134,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, e de 3.620 kg ha⁻¹, para uma aplicação de 155,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio.

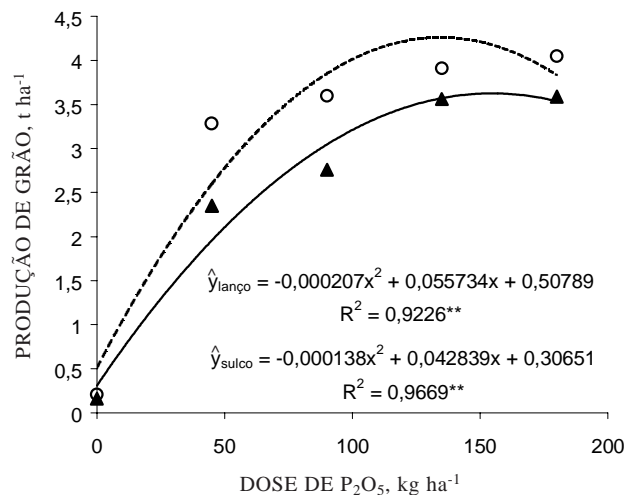


Figura 2. Produtividade de grãos de milho em resposta a doses de P₂O₅ adicionadas a lanço (---) e no sulco de plantio (—) em um solo de tabuleiro costeiro.

De acordo com estas observações, a incorporação do P a um volume maior de solo propiciou não apenas maior produção de grãos, mas também mostrou-se mais eficiente em termos de economia de adubo fosfatado (Figura 2). Tal diferença foi mais bem observada, quando se comparou a produtividade de grãos por kg de P₂O₅, no ponto de máxima produtividade dos dois modos de aplicação do adubo fosfatado, que foi de 31,6 kg, para a adubação fosfatada a lanço, e de 23,4, para a realizada no sulco de plantio.

O fornecimento localizado de P no solo, de modo que apenas uma fração das raízes de milho entre em contato com este nutriente, resulta na compartimentalização do P na parte aérea desta planta (Stryker et al., 1974). Esta compartimentalização é atribuída à organização vascular do milho e pode levar ao surgimento de desequilíbrios nutricionais em determinadas regiões da planta, quer pelo excesso, quer pela deficiência de P em relação a outros nutrientes, como o N (Novais et al., 1985; Alves et al., 1999), K, Ca e Mg (Alves et al., 1999).

Ainda que desequilíbrios como estes possam ter ocorrido nas plantas adubadas no sulco, estes não teriam sido suficientemente expressivos para alterar a eficiência de utilização do P foliar (EUP) por estas plantas, já que o modo de adubação não alterou esta variável no presente estudo (Quadro 1). A resposta das plantas de milho às doses de P₂O₅, em termos de EUP, foi quadrática com um máximo de 396 g de grãos por planta, para cada unidade percentual de P foliar, obtido na dose de 114,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os incrementos nos teores de P foliar proporcionados por doses de P₂O₅ superiores a esta não resultaram em aumento da EUP para a produtividade de grãos.

De acordo com estes resultados, conclui-se que a maior produtividade de milho nas parcelas adubadas a lanço, comparativamente à das adubadas em sulco, deve-se principalmente à maior absorção deste nutriente pelas plantas, e não a uma maior eficiência de utilização do P foliar pelas mesmas.

A adubação a lanço resultou ainda em maior produtividade de raízes na dose avaliada de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Quadros 2 e 3). Além disso, observou-se uma tendência de maior distribuição dessas raízes em regiões de solo mais distantes da planta (Quadro 3), comparativamente às plantas adubadas no sulco de plantio. Esta maior expansão radicular no solo adubado com P a lanço pode ter contribuído para aumentar a absorção de outros nutrientes e de água (Drake & Stewart, 1950), o que também favoreceria o aumento da produtividade de grãos de milho.

Quadro 2. Análise de variância da produtividade de massa seca de raízes de milho, na dose de 90 kg ha⁻¹ P₂O₅, considerando a forma de adição de P ao solo e as distâncias da planta

F.V.	G.L.	Quadrado médio
		Massa seca de raízes
Bloco	2	0,0450*
Forma de adição do P (A)	1	0,1104**
Distância da Planta (D)	4	0,6903**
A x D	4	0,0072 ^{ns}
Resíduo	18	0,0094
Total	29	
C.V. (%)		21,76

** , * e ns: Significativos a 1 e 5% e Não-significativo, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 3. Produção de massa seca de raízes nos modos de adição do adubo fosfatado em sulco e a lanço nos diversos intervalos de amostragem a partir do coleto, na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅

Distância de amostragem	Forma de adição do fósforo				Média
	Sulco		Lanço		
cm	g dm ⁻³	%	g dm ⁻³	%	g dm ⁻³
0-10	1,02	53 ⁽¹⁾	1,07	42	1,04 a ⁽²⁾
10-20	0,31	16	0,37	14	0,34 b
20-30	0,20	10	0,41	16	0,30 b
30-40	0,18	09	0,31	12	0,24 b
40-50	0,20	10	0,37	14	0,28 b
Total	1,91	100	2,53	100	
Média	0,38 B ⁽³⁾		0,51 A		

⁽¹⁾ Percentagem de massa seca de raízes em relação ao total de raízes obtidas entre 0 e 50 cm do coleto. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽³⁾ Comparação, pelo mesmo teste, entre formas de adição do fósforo.

CONCLUSÕES

1. A adubação de P a lanço, em solos da região estudada, resultou em maior produtividade de milho, com maior economia de adubo fosfatado, comparativamente à adubação no sulco de plantio.

2. A maior absorção de P pelas plantas foi a principal causa do aumento de produtividade de milho nas parcelas adubadas a lanço, e não a maior eficiência de utilização do P foliar por estas plantas.

LITERATURA CITADA

- ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A. & FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:299-305, 1999.
- ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:1016-1020, 1980.
- ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:349-353, 1992.
- BORKERT, C.M. & BARBER, S.A. Soybean shoot and root growth and phosphorus concentration as affected by phosphorus placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:152-155, 1985.
- DRAKE, M. & STEWART, E.H. Alfalfa fertility investigations in South Carolina. *Soil Sci.*, 69:459-469, 1950.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)
- GOMEZ, K.A. & GOMEZ, A.A. Statistical procedures for agricultural research with emphasis on rice. Los Baños, The International Rice Research Institute, 1976. 294p.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498p.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Phosphate uptake and corn root distribution as affected by fertilizer placement and soil tillage. *Agron. Trends Agric. Sci.*, 1:111-115, 1993.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 2:79-86, 1996.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Potafos, 1989. 201p.
- MILLER, M.H.; BATES, T.E.; SIGH, D. & BAWEJA, A.S. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed. I. Greenhouse studies. *Agron. J.*, 63:365-368, 1971.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:749-754, 1985.
- PERYEA, F.J. Phosphate-fertilizer-induced salt toxicity of newly planted apple trees. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1778-1783, 1990.
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nut.*, 4:289-302, 1981.
- SILVA, D.J.; ALVARENGA, R.C.; ALVAREZ V., V.H. & SOARES, P.C. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:203-209, 1993.
- SILVA, F.C.; EIRA, P.A.; RAIJ, B. van; SILVA, C.A.; ABREU, C.A.; GIANELLO, C.; PÉRES, D.V.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; ABREU, M.F. & BARRETO, W.O. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C., org. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. p.75-166.
- STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W. & JACKSON, W.A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. *Physiol. Plant.*, 30:231-239, 1974.