

EFEITO DA LOCALIZAÇÃO DE ADUBOS FOSFATADOS SOBRE O CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO¹

André Guarçoni Martins²
Victor Hugo Alvarez V.²
Roberto Ferreira de Novais²
João Carlos Cardoso Galvão³
Alexandre Paiva da Silva²

RESUMO

Foram conduzidos, em casa de vegetação, dois cultivos sucessivos de milho (híbrido duplo AG 122) em amostra de solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico, visando avaliar o efeito da localização de adubos fosfatados sobre o crescimento, absorção de P por plantas de milho e o teor de P no solo determinado por três extratores (Mehlich-1, Bray-1 e Mehlich-3). Subamostras de 3,534 dm³ de solo receberam calagem e foram colocadas em tubos de PVC com 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura, concomitantemente à aplicação dos tratamentos, constituídos pela combinação de três doses de P (50, 100 e 200 mg/dm³ de P), quatro fontes de P (fosfato de Araxá (FA), fosfato de Carolina do Norte (FNC), fosfato parcialmente acidulado (FPA) e superfosfato triplo (ST), e seis localizações de P, arranjados em fatorial parcial em blocos ao acaso. A localização do adubo fosfatado em menor volume de solo resultou em maior produção de matéria seca de milho e maior acúmulo de P, quando se utilizou a fonte solúvel (ST) e a parcialmente solúvel (FPA) nos dois cultivos, e para o FNC, apenas no segundo cultivo. O ST, nas três doses, localizado próximo à região de semeadura, foi a fonte que mais disponibilizou P para as plantas. O teor de P obtido na amostra composta (teor médio das regiões superior,

¹ Parte da tese do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de Magister Scientiae. Aceito para publicação em 05.07.2005.

² Dep. de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 36570-000 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq. E-mails: agmfertsolo@hotmail.com; vhav@ufv.br; rfnovais@ufv.br; paivasolos@bol.com.br

³ Dep. de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. 36570-000 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq. E-mail: jgalvao@ufv.br

mediana e inferior da coluna) apresentou maior correlação com a produção de matéria seca e com o conteúdo de P, em relação aos teores obtidos com as amostras simples (teor individual das regiões superior, mediana ou inferior da coluna). Nos tratamentos com ST, os três extratores foram equivalentes na caracterização da disponibilidade de P do solo. O extrator Bray-1 foi o que melhor caracterizou a disponibilidade de P no solo adubado com fontes naturais.

Palavras chaves: fósforo, disponibilidade, Mehlich-1, Bray-1, Mehlich-3

ABSTRACT

EFFECTS OF THE LOCALIZATION OF THE PHOSPHATE FERTILIZERS ON THE GROWTH OF MAIZE PLANTS

A sample of a dystrophic Yellow Latosol was used in two successive maize croppings carried out under greenhouse conditions. The study aimed at evaluating the effects of the localization of the phosphate fertilizers upon the maize growth and phosphorus absorption by plants, as well as the soil phosphorus content determined by three extractors (Mehlich-1, Bray-1 and Mehlich-3). Subsamples of 3,534 dm³ received the liming and were placed into PVC tubes with 10 cm diameter and 50 cm height, concomitantly to the application of the treatments consisting of the combination of three doses of P (50, 100 and 200 mg/dm³ P), four sources of P (Araxá phosphate (FA), North Caroline phosphate (FNC), partially acidified phosphate (FPA) and triple superphosphate (ST)) and six localizations of P on a partial factorial in randomized blocks. The localization of the phosphate fertilizer in a lower soil volume resulted a higher dry matter yield and higher P accumulation, when either the soluble (ST) and the partially soluble sources (FPA) were used in both croppings, and the FNC just in the second cropping. The source that made available the higher quantity of P for the maize plants was ST at three doses, localized near the seeding area. The P content obtained from the compound sample (average content in the superior, medium and inferior areas of the column) showed a higher correlation with either the dry matter yield and P content, relative to those contents obtained from the simple samples (individual content in the superior, medium and inferior areas of the column). In the treatments with ST, the three extractors were equivalent in characterizing the soil phosphorus availability. The Bray-1 extractor showed a better characterization of the phosphorus availability in the soil fertilized with the natural sources.

Key words: phosphorus, availability, Mehlich-1, Bray-1, Mehlich-3

INTRODUÇÃO

Grande parte dos solos tropicais apresenta elevada capacidade de adsorção de P e baixo teor do nutriente em formas disponíveis. Em solos muito intemperizados, como nos de cerrado, esta característica tende a ser limitante para as culturas nos primeiros anos de cultivo, em razão da baixa eficiência da adubação fosfatada.

Como a proporção do P adicionado e adsorvido pelo solo decresce com a quantidade aplicada de adubo fosfatado, há duas opções para aumentar sua concentração na solução do solo: aumentar a dose para o mesmo volume ou reduzir o volume de solo fertilizado para a mesma dose adicionada (8;16).

A aplicação do adubo fosfatado em menor volume de solo tem a vantagem de diminuir a adsorção de P, pois reduz o seu contato com

potenciais sítios de adsorção. Entretanto, quando se localiza o adubo fosfatado em menor volume de solo, apenas parte das raízes entra em contato com a área de alta concentração de P, o que permite supor que o volume de raízes que absorve o P é menor do que quando o nutriente é adicionado a todo o volume de solo. Para Anghinoni e Barber (3), a aplicação do adubo fosfatado em frações decrescentes do volume de solo pode, no entanto, estimular o crescimento radicular, principalmente de raízes mais finas, na parte fertilizada do solo, proporcionando incremento na superfície radicular exposta ao nutriente.

A aplicação de fosfatos naturais em menor volume de solo pode diminuir a sua taxa de solubilização. No entanto, condições favoráveis à maior dissolução do fosfato natural, como maior acidez do solo e maior tempo de contato solo:fertilizante, podem levar à uma elevada adsorção do P liberado por essas fontes, diminuindo a disponibilidade do nutriente para as plantas (17). Por isso, esses autores recomendam a aplicação do fosfato natural em menor volume de solo, principalmente os mais reativos, e para plantas que acidificam a rizosfera ou têm exigência de P e, ou, de Ca compatível com a taxa de solubilização do material.

Entre os extratores utilizados na avaliação do teor de P no solo, os considerados ácidos, apesar da simplicidade e rapidez em análises de rotina, apresentam baixa capacidade de extração em solos com elevada Capacidade Tampão de P (CTP) e com maior teor de óxidos de Fe e Al (23). Além disso, por extraírem mais P ligado a Ca e apenas pequena proporção do elemento ligado a Al e Fe (12), superestimam-se os teores de P nos solos adubados com fontes naturais.

Destacam-se, entre os métodos de extração de P do solo, que extraem pouco P oriundo de fosfatos naturais, a resina trocadora de íons (24) e a solução de Bray-1 (HCl 0,025 mol/L com NH_4F 0,03 mol/L) (7). O extrator Mehlich-3 tem despertado recentemente crescente interesse para uso em solos ácidos (14).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da localização de adubos fosfatados sobre o crescimento e a absorção de P por plantas de milho e sobre o teor de P no solo determinado por Mehlich-1, Bray-1 e Mehlich-3.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois cultivos sucessivos de milho (*Zea mays* L.) (híbrido duplo AG 122) em amostra de solo (30 a 60 cm) classificado como Latossolo Amarelo distrófico, passada por peneira de 6 mm ($\text{pH} = 4,5$; P-rem = 10,3 mg/L; P = 1,2 mg/dm³; $\text{Al}^{3+} = 0,67$; $\text{Ca}^{2+} = 0,1$; e $\text{Mg}^{2+} = 0,1$ cmol./dm³).

Foram separadas 168 subamostras de 3,534 dm³ de solo. Fez-se a calagem (4:1 Ca:Mg), utilizando o método do Al^{3+} e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis. O valor de Y foi estimado pelo uso do P remanescente (2) e utilizou-se X = 2. As subamostras foram colocadas em sacos plásticos, incubadas por 10 dias, e transferidas para colunas de PVC rígido, de 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura.

As subamostras de solo que formaram as colunas foram divididas em duas porções, uma superficial (0,234 dm³), onde foram aplicados

50 mg/dm³ de P na forma de superfosfato triplo, e outra subsuperficial (3,3 dm³), onde foram aplicados os tratamentos.

Os tratamentos originaram-se da combinação dos fatores dose, fonte e localização das fontes de P. As doses e os níveis dos fatores foram: três doses de P (50, 100 e 200 mg/dm³ de P); quatro fontes de P, sendo duas fontes naturais (fosfato de Araxá (FA), com 9,28 % de P total e fosfato de Carolina do Norte (FNC), com 13,23 % de P total) e duas fontes aciduladas industrialmente (fosfato parcialmente acidulado (FPA), com 8,08 % de P total e superfosfato triplo (ST), com 19,21 % de P total) e seis localizações do P (M, mistura da fonte nos 3,3 dm³ subsuperficiais da coluna; L11-4 (localização do adubo em 11 anéis de 5 cm de diâmetro, distanciados em profundidade de 4 em 4 cm); L6-7,5 (seis anéis de 7,5 em 7,5 cm); L3-17 (três anéis de 17 em 17 cm); L6-4 (seis anéis de 4 em 4 cm, concentrados na parte superior da coluna) e L3-4 (três anéis de 4 em 4 cm, concentrados na parte superior da coluna) (Figura 1).

As doses e os níveis dos fatores fonte de P e localização do adubo foram combinados de acordo com o seguinte fatorial: $(1 \times 3 \times 1 + 1 \times 1 \times 6) + (1 \times 4 \times 6) + (1 \times 3 \times 1 + 1 \times 1 \times 6)$, sendo:

$(1 \times 3 \times 1 + 1 \times 1 \times 6) = (50 \text{ mg/dm}^3 \text{ de P} \times \text{FA, FNC e FPA} \times \text{Loc. (M)} + (50 \text{ mg/dm}^3 \text{ de P} \times \text{ST} \times 6 \text{ Loc.}); (1 \times 4 \times 6) = (100 \text{ mg/dm}^3 \text{ de P} \times \text{FA, FNC, FPA e ST} \times 6 \text{ Loc.}); (1 \times 3 \times 1 + 1 \times 1 \times 6) = (200 \text{ mg/dm}^3 \text{ de P} \times \text{FA, FNC e FPA} \times \text{Loc. (M)} + 200 \text{ mg/dm}^3 \text{ de P} \times \text{ST} \times 6 \text{ Loc.}).$

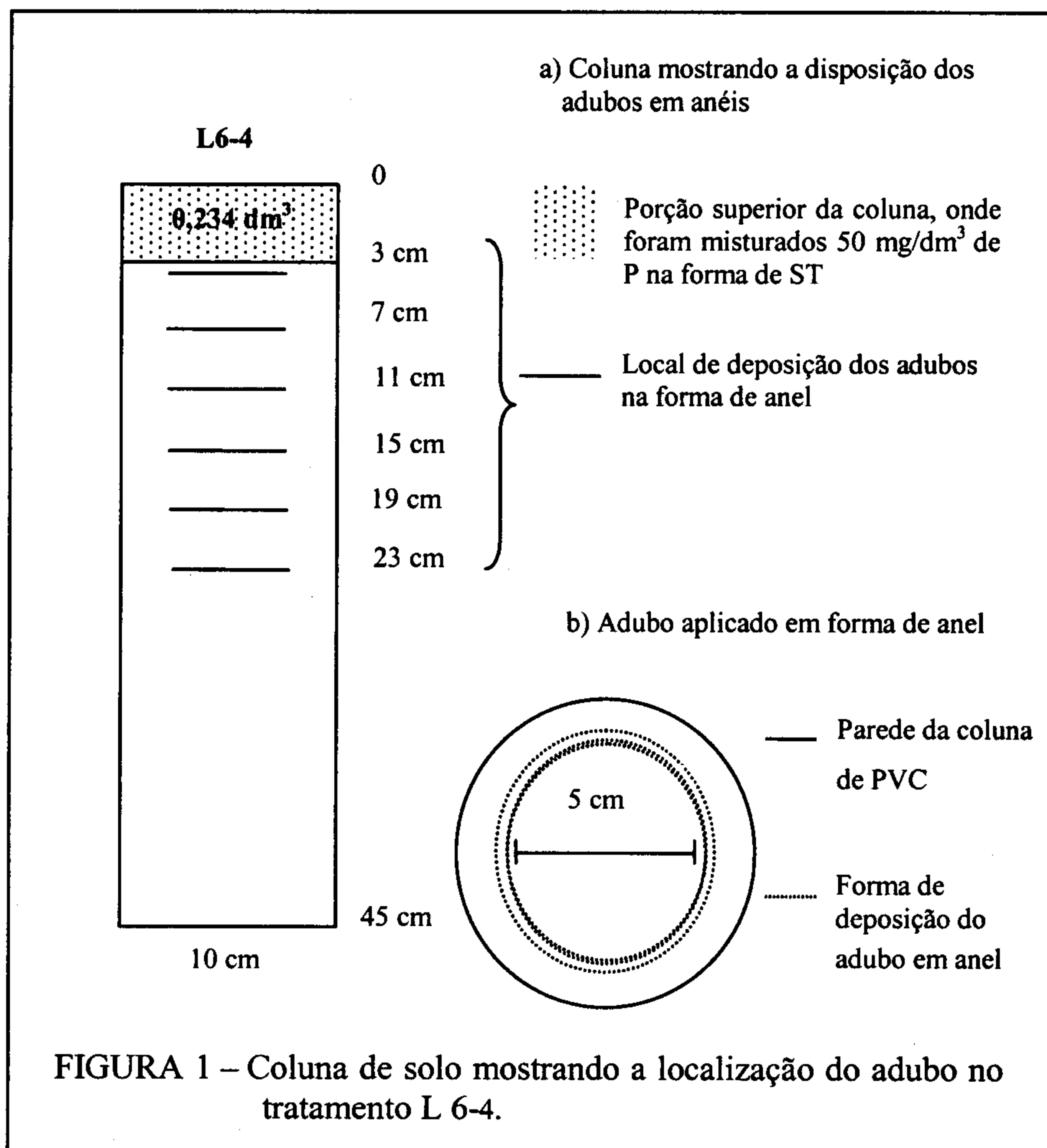
Os 42 tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso, com quatro repetições para o primeiro cultivo e duas repetições para o segundo. A unidade experimental foi constituída por uma coluna de solo e três plantas de milho.

Para o segundo cultivo, foram misturados 136 cm³ de solo original (sem calagem) aos 100 cm³ superficiais de cada coluna de solo, para facilitar nova adição de 50 mg/dm³ de P na forma de superfosfato triplo no plantio, deixando-se, novamente, três plantas por unidade experimental. Os dois cultivos receberam as mesmas doses dos outros macro e micronutrientes.

A parte aérea das plantas de milho de cada coluna foi colhida 40 dias após a emergência, em cada um dos cultivos. O material foi seco em estufa de ventilação forçada a 70 °C, até peso constante, determinando-se em seguida o peso da matéria seca.

A matéria seca foi moída e mineralizada por digestão nítrico-perclórica. O P foi dosado por colorimetria, segundo Braga e Defelipo (5), e calculado o conteúdo de P na parte aérea das plantas.

Após a colheita, as colunas de solo foram divididas em três regiões de amostragem, que tentaram simular as amostragens realizadas no campo: parte superior (0-16,8 cm) - amostragem no sulco ou na cova de plantio; mediana (16,8-33,5 cm) - amostragem próxima ao sulco ou a cova de plantio e inferior (33,5-48,5 cm) - amostragem nas entrelinhas. O P disponível foi extraído por Mehlich-1 (9), Bray-1 (7) e Mehlich-3 (14) e dosado por colorimetria (5). As análises estatísticas constaram de análise de variância, com desdobramento dos efeitos em graus individuais de liberdade, por meio de contrastes ortogonais, e análise de correlação linear simples.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca e conteúdo de P na parte aérea

Ao comparar as fontes aciduladas industrialmente (ST e FPA) com a fonte natural de baixa reatividade (FA), quando os fertilizantes foram misturados em todo o volume de solo da coluna, observou-se maior produção de matéria seca e maior conteúdo de P na parte aérea com as fontes aciduladas nos dois cultivos, apenas nas maiores doses (100 e 200 mg/dm³ de P). Na menor dose (50 mg/dm³ de P), as fontes aciduladas resultaram em maior produção de matéria seca apenas no primeiro cultivo (Quadros 1 e 2).

QUADRO 1 - Produção de matéria seca e conteúdo de P na parte aérea das plantas de milho, em resposta à adição de três doses de P, em seis localizações de fertilizantes fosfatados, no primeiro (C1) e no segundo cultivo (C2)

| Tratamentos ^{1/} | Matéria Seca | | Conteúdo | |
|---------------------------|--------------------|-------|---------------------|-------|
| | C1 | C2 | C1 | C2 |
| | -----g/coluna----- | | -----mg/coluna----- | |
| 50-FA-M | 2,74 | 1,72 | 1,92 | 1,19 |
| 50-FNC-M | 5,50 | 4,40 | 6,60 | 5,18 |
| 50-FPA-M | 5,23 | 3,50 | 5,23 | 3,49 |
| 50-ST-M | 5,45 | 2,57 | 5,45 | 2,17 |
| 50-ST-L11-4 | 11,10 | 3,28 | 13,32 | 2,93 |
| 50-ST-L6-7,5 | 12,29 | 2,47 | 15,98 | 2,13 |
| 50-ST-L3-17 | 15,11 | 3,58 | 19,64 | 3,01 |
| 50-ST-L6-4 | 15,31 | 3,49 | 18,37 | 3,31 |
| 50-ST-L3-4 | 19,07 | 5,76 | 22,88 | 5,33 |
| 100-FA-M | 3,27 | 2,32 | 2,29 | 1,73 |
| 100-FA-L11-4 | 3,90 | 2,45 | 2,73 | 1,74 |
| 100-FA-L6-7,5 | 3,48 | 2,47 | 2,78 | 2,02 |
| 100-FA-L3-17 | 3,22 | 2,05 | 2,25 | 1,81 |
| 100-FA-L6-4 | 3,41 | 3,12 | 2,73 | 2,76 |
| 100-FA-L3-4 | 3,45 | 2,79 | 2,76 | 2,37 |
| 100-FNC-M | 7,65 | 4,76 | 9,18 | 4,94 |
| 100-FNC-L11-4 | 6,40 | 5,26 | 7,04 | 5,63 |
| 100-FNC-L6-7,5 | 6,22 | 8,21 | 6,84 | 9,11 |
| 100-FNC-L3-17 | 8,25 | 7,92 | 9,90 | 9,00 |
| 100-FNC-L6-4 | 10,30 | 7,87 | 12,36 | 9,21 |
| 100-FNC-L3-4 | 9,38 | 8,74 | 12,19 | 10,99 |
| 100-FPA-M | 6,99 | 4,45 | 8,39 | 4,92 |
| 100-FPA-L11-4 | 12,87 | 4,36 | 16,73 | 4,36 |
| 100-FPA-L6-7,5 | 13,99 | 4,25 | 15,39 | 4,79 |
| 100-FPA-L3-17 | 14,55 | 4,33 | 18,92 | 3,98 |
| 100-FPA-L6-4 | 16,49 | 4,27 | 21,44 | 4,25 |
| 100-FPA-L3-4 | 16,58 | 6,39 | 19,90 | 6,59 |
| 100-ST-M | 11,59 | 5,09 | 15,07 | 6,13 |
| 100-ST-L11-4 | 15,62 | 6,30 | 24,99 | 6,32 |
| 100-ST-L6-7,5 | 20,91 | 5,79 | 33,46 | 6,29 |
| 100-ST-L3-17 | 20,26 | 7,66 | 36,47 | 7,89 |
| 100-ST-L6-4 | 18,66 | 7,58 | 39,19 | 8,98 |
| 100-ST-L3-4 | 21,64 | 10,75 | 38,95 | 13,30 |
| 200-FA-M | 3,06 | 2,36 | 2,45 | 1,83 |
| 200-FNC-M | 12,95 | 9,89 | 18,13 | 12,01 |
| 200-FPA-M | 12,88 | 5,53 | 15,46 | 6,33 |
| 200-ST-M | 17,61 | 6,01 | 24,65 | 6,60 |
| 200-ST-L11-4 | 20,18 | 13,17 | 48,43 | 15,19 |
| 200-ST-L6-7,5 | 25,89 | 13,42 | 54,37 | 17,57 |
| 200-ST-L3-17 | 24,19 | 15,06 | 55,64 | 18,89 |
| 200-ST-L6-4 | 25,54 | 16,51 | 63,85 | 22,11 |
| 200-ST-L3-4 | 23,37 | 21,55 | 72,45 | 28,09 |

^{1/} 50, 100 e 200 mg/dm³ de P, FA (Fosfato de Araxá), FNC (Fosfato de Norte Carolina), FPA (Fosfato parcialmente acidulado) e ST (Superfosfato triplo). M, mistura do adubo nos 3,3 dm³ subsuperficiais da coluna; L11-4 (localização em 11 anéis de 5 cm de diâmetro distanciados, em profundidade, de 4 em 4 cm); L6-7,5 (6 anéis de 7,5 em 7,5); L3-17(3 anéis de 17 em 17 cm); L6-4 (seis anéis de 4 em 4 cm na parte superior da coluna) e L3-4 (3 anéis de 4 em 4 cm na parte superior da coluna).

QUADRO 2 – Análise de variância da produção de matéria seca (g/coluna) e do conteúdo de P na parte aérea das plantas de milho (mg/coluna), em resposta à adição de três doses de P a colunas de solo, em seis localizações de fertilizantes fosfatados, no primeiro (C1) e no segundo cultivo (C2)

| Fonte de variação ^{1/} | GL | QM | | | |
|---------------------------------|----|--------------|----------|---------------|----------|
| | | Matéria Seca | | Conteúdo de P | |
| | | C1 | C2 | C1 | C2 |
| Rep. ^{2/} | 3 | 4,94 | 5,14 | 5,96 | 6,83 |
| Doses / FA d/M | 1 | 0,21 | 0,42 | 0,47 | 0,41 |
| Doses q FA d/M | 1 | 0,35 | 0,10 | 0,19 | 0,06 |
| Doses / FNC d/M | 1 | 110,78** | 30,14** | 270,47** | 46,65** |
| Doses q FNC d/M | 1 | 6,61 | 7,58* | 27,05 | 17,79** |
| Doses / FPA d/M | 1 | 117,05** | 4,12 | 184,27** | 8,08 |
| Doses q FPA d/M | 1 | 11,40* | 0,01 | 8,10 | 0,00 |
| Doses / ST d/M | 1 | 295,73** | 11,87** | 730,19** | 19,56** |
| Doses q ST d/M | 1 | 0,02 | 0,86 | 0,06 | 4,04 |
| FA vs FPA e ST d/M d/50 | 1 | 17,99** | 2,31 | 31,19 | 3,59 |
| FA vs FNC d/M d/50 | 1 | 15,24* | 7,21* | 41,74 | 15,90* |
| FPA vs ST d/M d/50 | 1 | 0,10 | 0,87 | 0,03 | 1,72 |
| M vs L d/ST d/50 | 1 | 277,34** | 2,20 | 500,31** | 2,28 |
| L1 vs L2 a L5 d/ST d/50 | 1 | 60,34** | 0,48 | 106,76** | 0,43 |
| L2 e L4 vs L3 e L5 d/ST | 1 | 43,30** | 5,71* | 52,13 | 4,21 |
| L2 vs L4 d/ST d/50 | 1 | 18,24** | 1,03 | 6,41 | 1,39 |
| L3 vs L5 d/ST d/50 | 1 | 31,37** | 4,73 | 19,67 | 5,38 |
| FA vs FPA e ST d/M d/100 | 1 | 409,59** | 15,44** | 1.230,95** | 25,95** |
| FA vs FNC d/M d/100 | 1 | 251,67** | 126,78** | 557,95** | 221,28** |
| FPA vs ST d/M d/100 | 1 | 246,52** | 38,10** | 2.474,87** | 66,75** |
| M vs L d/FA d/100 | 1 | 0,17 | 0,11 | 0,34 | 0,29 |
| L1 vs L2 a L5 d/FA d/100 | 1 | 0,82 | 0,04 | 0,05 | 0,40 |
| L2 e L4 vs L3 e L5 d/FA | 1 | 0,05 | 0,28 | 0,05 | 0,18 |
| L2 vs L4 d/FA d/100 | 1 | 0,01 | 0,42 | 0,00 | 0,55 |
| L3 vs L5 d/FA d/100 | 1 | 0,11 | 0,55 | 0,46 | 0,31 |
| M vs L d/FNC d/100 | 1 | 0,70 | 13,43** | 0,75 | 24,68** |
| L1 vs L2 a L5 d/FNC d/100 | 1 | 14,62* | 13,74** | 32,96 | 24,97** |
| L2 e L4 vs L3 e L5 d/FNC | 1 | 1,22 | 0,17 | 3,47 | 1,41 |
| L2 vs L4 d/FNC d/100 | 1 | 33,33** | 0,12 | 60,52* | 0,01 |
| L3 vs L5 d/FNC d/100 | 1 | 2,57 | 0,67 | 11,24 | 3,98 |
| M vs L d/FPA d/100 | 1 | 208,69** | 0,12 | 325,98** | 0,03 |
| L1 vs L2 a L5 d/FPA d/100 | 1 | 20,50** | 0,33 | 18,09 | 0,48 |
| L2 e L4 vs L3 e L5 d/FPA | 1 | 0,42 | 2,43 | 9,22 | 1,17 |
| L2 vs L4 d/FPA d/100 | 1 | 12,50* | 0,00 | 65,14* | 0,29 |
| L3 vs L5 d/FPA d/100 | 1 | 8,24* | 4,24 | 7,71 | 6,81 |
| M vs L d/ST d/100 | 1 | 204,44** | 10,61** | 1.241,33** | 9,85* |
| L1 vs L2 a L5 d/ST d/100 | 1 | 72,16** | 4,34 | 385,76** | 12,54* |
| L2 e L4 vs L3 e L5 d/ST | 1 | 5,48 | 12,65** | 17,00 | 17,59** |
| L2 vs L4 d/ST d/100 | 1 | 10,15* | 3,20 | 74,20* | 7,25 |
| L3 vs L5 d/ST d/100 | 1 | 3,82 | 9,55* | 24,93 | 29,26** |
| FA vs FPA e ST d/M d/200 | 1 | 395,77** | 15,50** | 2.319,88** | 106,33** |
| FA vs FNC d/M d/200 | 1 | 195,33** | 56,70** | 493,83** | 103,58** |
| FPA vs ST d/M d/200 | 1 | 44,84** | 0,23 | 175,88** | 0,07 |

Continua...

| QUADRO 2 - Continuação. | | | | | |
|---------------------------------|-----|--------------|----------|---------------|----------|
| Fonte de variação ^{1/} | GL | QM | | | |
| | | Matéria Seca | | Conteúdo de P | |
| | | C1 | C2 | C1 | C2 |
| M vs L d/ST d/200 | 1 | 128,92** | 164,31** | 3.766,80** | 316,20** |
| L1 vs L2 a L5 d/ST d/200 | 1 | 66,76** | 19,24** | 543,98** | 67,16** |
| L2 e L4 vs L3 e L5 d/ST | 1 | 14,94* | 22,31** | 78,40* | 26,66** |
| L2 vs L4 d/ST d/200 | 1 | 0,24 | 9,58** | 170,13** | 20,57** |
| L3 vs L5 d/ST d/200 | 1 | 1,37 | 42,06** | 513,70** | 84,71** |
| Resíduo ^{2/} | 123 | 2,58 | 1,31 | 15,08 | 2,32 |
| C.V. (%) | | 13,07 | 18,24 | 19,98 | 21,58 |

*, ** Significativo a 5 e 1% de probabilidades, respectivamente.
^{1/} l (linear), q (quadrático), d/ (dentro de), FA (Fosfato de Araxá), FNC (Fosfato de Norte Carolina), FPA (Fosfato parcialmente acidulado) e ST (Superfosfato triplo). M, mistura do adubo nos 3,3 dm³ subsuperficiais da coluna; L1 = L11-4; L2 = L6-7,5; L3 = L3-17; L4 = L6-4 e L5 = L3-4. 50, 100 e 200 mg/dm³ de P. ^{2/} Para C2 o número de G.L. de Rep. é 1 e o número de G.L. do Resíduo é 41.

Os resultados obtidos devem-se ao fato de que, quando aplicadas em maior volume de solo e em pequenas doses, as fontes de P aciduladas industrialmente tendem a ter, segundo Goedert & Souza (10), o P rapidamente adsorvido/precipitado, diminuindo a disponibilidade para as plantas. Além disso, o efeito residual do P tende a diminuir com o tempo, devido à passagem da forma lábil para não-lábil, especialmente para fontes que liberem o P rapidamente.

Pelas mesmas razões, não foram observadas diferenças entre a produção de matéria seca e o conteúdo de P, obtidos com o ST e com o FPA na dose de 50 mg/dm³ de P, em nenhum dos cultivos, e na dose de 200 mg/dm³ de P, no segundo cultivo, quando ambos foram misturados em todo o volume de solo da coluna (Quadros 1 e 2). A maior produção de matéria seca e o maior conteúdo de P na parte aérea obtidos com o ST, em relação ao FPA, na menor dose, no primeiro cultivo, devem-se à sua maior solubilidade, uma vez que o FPA sofre acidulação industrial moderada.

A elevação da dose, no entanto, aumentou a concentração do nutriente no solo, proporcionando aumento linear na produção de matéria seca e no acúmulo de P, em razão do decréscimo da adsorção de P em relação ao aumento da dose de fosfato solúvel aplicada (16).

A elevada reatividade do FNC (17) foi comprovada pela maior produção de matéria seca e pelo maior conteúdo de P na parte aérea das plantas em relação ao FA, em todas as doses nos dois cultivos, exceto na dose de 50 mg/dm³ de P, no primeiro cultivo, em que os conteúdos de P na parte aérea não diferiram (Quadros 1 e 2).

Pela mesma razão, a produção de matéria seca e o conteúdo de P com o FNC foram maiores do que os obtidos com ST e com FPA, no segundo cultivo, na dose de 200 mg/dm³ de P (o contraste adicional, FNC

vs FPA e ST d/M d/200, apresentou $F = 8,77^{**}$ para a produção de matéria seca e $F = 17,67^{**}$ para o conteúdo de P na parte aérea).

Na dose de 100 mg/dm^3 , houve diferença entre as fontes de P, quanto à disponibilidade de P, em relação às observadas nas doses de 50 e 200 mg/dm^3 de P, especialmente entre as aciduladas (ST e FPA) e a fonte natural reativa (FNC) (Quadros 1 e 2).

Mesmo o FPA, que sofre uma acidulação industrial moderada, proporcionou, na média de todas as localizações, maior produção de matéria seca e maior conteúdo de P na parte aérea do que o FNC, no primeiro cultivo (Quadro 1; o contraste adicional, FPA vs FNC d/100, apresentou $F = 23,84^{**}$ para a produção de matéria seca e $F = 6,90^{**}$ para o conteúdo de P na parte aérea). Esse resultado demonstra, mais uma vez, que o efeito da localização em menor volume de solo é maior para fontes aciduladas do que para fontes naturais, mesmo aquelas de elevada reatividade. Resultado semelhante foi observado por Melo et al. (15), que, no entanto, compararam o FPA a um fosfato natural pouco reativo.

Comparando o efeito das localizações em menor volume de solo, em relação à mistura do fertilizante em todo o volume de solo da coluna, observou-se incremento significativo na produção de matéria seca e no conteúdo de P apenas para as fontes aciduladas (FPA no primeiro cultivo e ST nos dois cultivos) e para o FNC no segundo cultivo (Quadros 1 e 2). Em experimento semelhante, Guarçoni M. & Alvarez V. (11) observaram, no entanto, maior produção de matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto, ao localizarem o FA e o FNC em menor volume de solo.

No segundo cultivo, a localização do FNC em menor volume de solo proporcionou incremento significativo na produção de matéria seca (83,6 %) e no conteúdo de P na parte aérea (122,5 %) em relação à mistura do fertilizante em todo o volume de solo da coluna (Quadros 1 e 2). A localização em menor volume de solo com diminuição da adsorção de P, foi o principal fator responsável por este resultado.

A localização do ST em menor volume de solo, em relação à mistura do fertilizante em todo solo da coluna, proporcionou incrementos significativos na produção de matéria seca e no conteúdo de P, embora tenha ocorrido decréscimo da produção de matéria seca com a elevação da dose no primeiro cultivo (Quadros 1 e 2). Esse resultado apesar de corroborar os obtidos por Silva et al. (20) discordam com os de Novais et al. (18), Zhang e Barber (25), que não observaram aumento na produção de matéria seca e na absorção de P por plantas de milho, com a localização do adubo fosfatado em um menor volume de solo.

O maior incremento na produção de matéria seca no primeiro cultivo (250 %) foi obtido com a localização L3-4 (localização em 3 anéis de 5 cm de diâmetro distanciados, em profundidade, de 4 em 4 cm), que concentra o P próximo ao local de semeadura. Sleight et al. (21) e Leite

(13) também observaram maior produção de matéria seca ao aplicarem o fosfato solúvel próximo ao local de semeadura.

Deve-se ressaltar que, quando as doses na forma de ST foram aumentadas, localizações que permitiam maior contato solo:fertilizante ou que concentravam menos P próximo ao local de semeadura foram tão ou mais eficientes do que a localização L3-4 no primeiro cultivo (Quadros 1 e 2). Esses resultados estão de acordo com Anghinoni (4), ao afirmar que doses menores são mais eficientes quando aplicadas a menores volumes de solo, e que, à medida que as doses são aumentadas os fosfatos solúveis devem reagir com maior volume de solo para que aumentem seu efeito na produção de matéria seca.

A localização L3-4, na dose de 50 mg/dm³ de P como ST, proporcionou, no primeiro cultivo, produção de matéria seca superior à alcançada na dose de 100 mg/dm³ de P e semelhante à alcançada na dose de 200 mg/dm³ de P, quando se misturou o ST em todo o volume de solo da coluna (Quadro 1), demonstrando que pode haver, dependendo da forma de aplicação, economia de 75 % na quantidade de fertilizante para uma dada produção, ou uma relação de 4:1 entre a quantidade de adubo fosfatado solúvel recomendada para área total e a quantidade a ser aplicada de forma localizada.

Para o conteúdo de P na parte aérea, utilizando-se o ST, as localizações que concentraram o P próximo ao local de semeadura foram mais eficientes para todas as doses estudadas, em ambos os cultivos (Quadros 1 e 2). Esse fato se repetiu para a produção de matéria seca no segundo cultivo, nas doses de 100 e de 200 mg/dm³ de P, demonstrando que a localização do adubo em menor volume de solo diminuiu a adsorção de P, permitindo maior efeito residual do ST em relação à mistura em todo volume de solo.

Teores de P no solo

Os três extratores utilizados apresentaram diferentes capacidades de recuperação de P, de acordo com a fonte de P utilizada. Com o extrator Mehlich-1, a ordem de recuperação, na média das doses utilizadas foi: FA > FPA > FNC > ST (45,87; 32,99; 25,59 e 20,30 mg/dm³, respectivamente, quando os adubos foram misturados em todo o volume de solo). Deve-se lembrar que a fonte parcialmente acidulada (FPA) é formada por aproximadamente 50 % de fosfato natural pouco reativo, o que tem influência direta nesse resultado. Além disso, as correlações dos teores médios no solo, recuperados pelo Mehlich-1 em todos os tratamentos, com a produção de matéria seca e com o conteúdo de P na parte aérea não foram significativas (Quadros 3). Para Rajj & Diest (22), resultados como esse decorrem da elevada acidez do extrator Mehlich-1,

que solubiliza os fosfatos naturais, superestimando a “disponibilidade” de P nesses tratamentos.

QUADRO 3 - Coeficientes de correlação linear simples entre produção de matéria seca e conteúdo de P na parte aérea no primeiro cultivo com teores de P no solo pelos três extratores nas regiões de amostragem, superior (s), mediana (m) e inferior (i), e os teores médios das regiões de amostragem superior e mediana (s, m) e os teores médios das três regiões de amostragem (s, m, i), em todos os tratamentos

| Teor de P no solo | Produção MS | Conteúdo P |
|-------------------|-------------|------------|
| M-1 (s) | 0,0223 | 0,1700 |
| B-1 (s) | 0,6517** | 0,7997** |
| M-3 (s) | 0,3172* | 0,4525** |
| M-1 (m) | -0,2007 | -0,1153 |
| B-1 (m) | 0,5793** | 0,5972** |
| M-3 (m) | 0,0840 | 0,1200 |
| M-1 (i) | -0,1966 | -0,1414 |
| B-1 (i) | 0,4847** | 0,4568** |
| M-3 (i) | 0,1668 | 0,1787 |
| M-1 (s, m) | -0,0832 | 0,0796 |
| B-1 (s, m) | 0,7622** | 0,8875** |
| M-3 (s, m) | 0,3157* | 0,4505** |
| M-1 (s, m, i) | -0,1484 | 0,0035 |
| B-1 (s, m, i) | 0,7910** | 0,8890** |
| M-3 (s, m, i) | 0,3343** | 0,4551** |

*, ** significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quando as correlações dos teores médios no solo, recuperados pelo Mehlich-1, com a produção de matéria seca e o conteúdo de P na parte aérea, foram feitas apenas nos tratamentos contendo ST, os valores de r foram significativos e de elevada magnitude (Quadro 4), mostrando ser o extrator Mehlich-1 adequado para avaliar a disponibilidade de P nessa condição.

O método Bray-1, por outro lado, mostrou pouca sensibilidade em recuperar o P-Ca proveniente do FA, sendo que a ordem de recuperação em relação à fonte de P aplicada, na média das doses utilizadas foi: ST > FNC > FPA > FA (20,46; 15,73; 14,87 e 8,70 mg/dm³, respectivamente, quando os adubos foram misturados em todo o volume de solo da coluna). Além disso, as correlações da produção de matéria seca e do conteúdo de P na parte aérea, com os teores médios de P recuperados do solo pelo Bray-1, foram significativas e de elevada magnitude, tanto para todos os tratamentos quanto nos tratamentos com ST (Quadros 3 e 4). Raij & Diest (22) consideram o extrator Bray-1 um dos mais adequados para estimar o P disponível em solos que receberam fertilização com fosfatos de

diferentes naturezas. No entanto, Brasil & Muraoka (6) observaram baixos coeficientes de correlação entre o P recuperado por Bray-1 e a resposta de plantas de caupi, nos tratamentos com fosfato natural.

O extrator Mehlich-3 mostrou menor sensibilidade ao P-Ca do FA do que o Mehlich-1 e maior do que o Bray-1, sendo que a ordem de recuperação em relação à fonte de P aplicada, na média das doses utilizadas foi: FNC > ST \cong FPA > FA (18,17; 14,07; 14,03 e 12,66 mg/dm³, respectivamente, quando os adubos foram misturados em todo o volume de solo).

QUADRO 4 - Correlação linear simples entre produção de matéria seca e conteúdo de P na parte aérea no primeiro cultivo com teores de P no solo pelos três extratores nas regiões de amostragem, superior (s), mediana (m) e inferior (i), e os teores médios das regiões de amostragem superior e mediana (s, m) e os teores médios das três regiões de amostragem (s, m, i), nos tratamentos com ST

| Teor de P no solo | Matéria seca | Conteúdo |
|-------------------|--------------|----------|
| M-1 (s) | 0,5923** | 0,8016** |
| B-1 (s) | 0,6278** | 0,8305** |
| M-3 (s) | 0,6760** | 0,8569** |
| M-1 (m) | 0,5503* | 0,5346* |
| B-1 (m) | 0,4736* | 0,4768* |
| M-3 (m) | 0,4734* | 0,4699* |
| M-1 (i) | 0,3465 | 0,2967 |
| B-1 (i) | 0,2839 | 0,2417 |
| M-3 (i) | 0,3528 | 0,3048 |
| M-1 (s, m) | 0,7435** | 0,9169** |
| B-1 (s, m) | 0,7316** | 0,9034** |
| M-3 (s, m) | 0,7617** | 0,9182** |
| M-1 (s, m, i) | 0,7642** | 0,8926** |
| B-1 (s, m, i) | 0,7348** | 0,8721** |
| M-3 (s, m, i) | 0,7844** | 0,9030** |

*, ** significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

As correlações da produção de matéria seca e do conteúdo de P na parte aérea das plantas de milho com os teores médios de P recuperados do solo com Mehlich-3, foram significativas tanto nos tratamentos com ST quanto para todos os tratamentos, sendo que, neste caso, as magnitudes foram bem menores (Quadros 3 e 4).

Utilizando-se a média entre os teores das três regiões de amostragem, simulando no campo uma amostra composta uniformemente distribuída, as correlações com a produção de matéria seca e com o conteúdo de P na parte aérea apresentaram magnitudes mais elevadas, em relação ao uso de amostras localizadas, especialmente nos tratamentos com ST (Quadros 3 e 4). Isto demonstra que a média entre os teores das três regiões amostradas proporcionou maior equivalência com a resposta das plantas, avaliando de

forma mais correta a disponibilidade de P no solo. Portanto, pode-se inferir que, no campo, amostras compostas formadas por amostras simples retiradas no sulco ou cova de plantio, na proximidade do sulco ou cova de plantio e nas entrelinhas, sejam as mais representativas da disponibilidade de P para as plantas. Resultado semelhante foi observado por Alvarez V. & Guarçoni M. (1).

Apesar das diferenças quanto ao poder de recuperação e quanto as correlações com a planta, os três extratores apresentaram correlações significativas entre si, ao utilizar a média das três regiões de amostragem (s,m,i), tanto para todos os tratamentos quanto nos tratamentos com ST, embora nos tratamentos com ST as correlações tenham apresentado magnitudes mais elevadas (Quadro 5).

QUADRO 5 - Coeficientes de correlação linear simples entre os teores médios de P recuperados pelos extratores Mehlich-1 (M1), Bray-1 (B1) e Mehlich-3 (M3), nas três regiões de amostragem (s,m,i) das colunas de solo, considerando todos os tratamentos e os tratamentos com ST

| Teor de P pelos extratores | Todos os tratamentos | ST |
|-----------------------------|----------------------|----------|
| M-1 (s, m,i) - B-1 (s, m,i) | 0,2383** | 0,9926** |
| M-1 (s, m,i) - M-3 (s, m,i) | 0,6560** | 0,9956** |
| B-1 (s, m,i) - M-3 (s, m,i) | 0,6888** | 0,9908** |

** significativo a 1 % de probabilidade.

CONCLUSÕES

1) A localização do adubo fosfatado em menor volume de solo resultou em maior produção de matéria seca e maior absorção de P pela parte aérea das plantas de milho, quando se utilizou a fonte solúvel e a parcialmente solúvel.

2) A localização do fosfato de Norte Carolina em menor volume de solo, em relação à mistura do mesmo em todo o volume de solo da coluna, proporcionou maior produção de matéria seca e maior conteúdo de P apenas no segundo cultivo.

3) A localização do superfosfato triplo na menor dose, próxima à região de semeadura, foi a que apresentou maior eficiência na produção de matéria seca, em relação às outras formas de localização.

4) O teor de P, obtido com a amostra composta (teor médio das regiões superior, mediana e inferior da coluna), apresentou maior correlação, tanto com produção de matéria seca da parte aérea quanto com conteúdo de P, em relação aos teores obtidos com as amostras localizadas (teor individual de cada uma das regiões de amostragem).

5) Nos tratamentos com ST, os três extratores foram equivalentes na caracterização da disponibilidade de P do solo, mas quando consideraram-se todos os tratamentos, a correlação entre Bray-1 e Mehlich-1 foi de baixa magnitude. O extrator Bray-1 foi o que melhor caracterizou a disponibilidade de P nos solos adubados com fontes naturais.

REFERÊNCIAS

1. ALVAREZ V., V.H. & GUARÇONI M.A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 297-310, 2003.
2. ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., DIAS, L.E, OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente, *Boletim Informativo da SBCS*, 52 (1): 27-32, 2000.
3. ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. *Soil Science Society America Journal*, 44:1041-4, 1980.
4. ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16: 349-53, 1992.
5. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Revista Ceres*, 21: 73-85, 1974.
6. BRASIL, E.C. & MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21: 599-606, 1997.
7. BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59: 39-45, 1945.
8. CASTILHOS, D.D. & ANGHINONI, I. Eficiência na absorção e disponibilidade fósforo pelo milho em relação ao método de aplicação do fertilizante ao solo. *Agronômica Sulriograndense*, 19: 43-55, 1983.
9. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212 p. (EMBRAPA – CNPS. Documentos, 1).
10. GOEDERT, W.J. & SOUZA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira, 14, Brasília, 1984. *Anais*, 1984, p .255-89.
11. GUARÇONI M., A. & ALVAREZ V., V.H. Crescimento de *Eucalyptus urophylla*, em casa de vegetação, quando submetido a diferentes fontes, doses e localizações de fertilizantes fosfatados. In: XXIII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. FERTBIO 98, 1998, Caxambu – MG. Resumos, Lavras: UFLA/SBCS/SBM. 1998.
12. KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: Khasawneh, F.E., Samples, E.C., Khamprath, E.J. (eds.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p. 433-69.
13. LEITE, P.B. Níveis críticos de fósforo para milho e eucalipto, em função da sua localização no solo em vasos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 107p. (Tese de mestrado).
14. MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Science Plant Analysis*, 15(2): 1409-16, 1984.
15. MELO, V.F., GOMES, P.C., GUIMARÃES, T.G., ALVAREZ V., V.H. Produção de matéria seca de plantas de milho (*Zea mays* L.) pela localização e época de aplicação do fosfato parcialmente acidulado. *Revista Ceres*, 41(238): 676-87, 1994.
16. MODEL, N.S. & ANGHINONI, I. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16: 55-9, 1992.

17. NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV/DPS, 1999. 399p.
18. 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. *Pesquisa. Agropecuária. Brasileira*, 20: 749-54, 1985.
19. RAIJ, B. van & DIEST, B. van. Phosphate supplying power of rock phosphate in an Oxisol. *Plant and Soil*, 55: 97-104, 1980.
20. RAIJ, B. van, FEITOSA, C.T., SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. *Bragantia*, 43(1): 17-29, 1984.
21. RAIJ, B. van, QUAGGIO, J.A., SILVA, N.M. da. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, 17:547-566, 1986.
22. RECH, T.D. Efeito de resíduos orgânicos em mistura com fosfato de Araxá e superfosfato triplo na disponibilidade de fósforo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 95p. (Tese de mestrado).
23. 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17: 203-9, 1993.
24. SLEIGHT, D.M., SANDER, D.M., PETERSON, S.A. Effect of fertilizer phosphorus placement on the availability of phosphorus. *Soil Science Society America Journal*, 48: 336-40, 1984.
25. ZHANG, J. & BARBER, S.A. Maize root distribution between phosphorus – fertilized and unfertilized soil. *Soil Science Society America Journal*, 56: 819-22, 1992.