

**LEANDRO FLÁVIO CARNEIRO**

**FONTES, DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA  
INTERAÇÃO FÓSFORO-ZINCO EM MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2006**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Carneiro, Leandro Flávio

Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho./ Leandro Flávio Carneiro. -- Lavras : UFLA, 2006.  
75 p.: il.

Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto.  
Dissertação (Mestrado) – UFLA.  
Bibliografia.

1. Fontes 2. Doses. 3. Modos de aplicação. 4. Interação fósforo-zinco.  
5. Milho. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.15891

**LEANDRO FLÁVIO CARNEIRO**

**FONTES, DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA  
INTERAÇÃO FÓSFORO-ZINCO EM MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 1º de agosto de 2006

Pesq. Dr. Álvaro Vilela de Resende

Embrapa Cerrados

Prof. Dr. Valdemar Faquin

DCS/UFLA

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto  
UFLA  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL**

A Deus,

“pela sabedoria, força e proteção.”

### **OFEREÇO**

Aos meus pais, Maurício Antônio Carneiro e Maria Helena Gomes Carneiro,  
pelo amor, apoio e confiança.

A minha noiva, Daniella Nogueira Moraes, pelo amor, carinho, companheirismo  
e compreensão.

Também aos meus irmãos, Maurício Antônio Carneiro Júnior e Milene  
Carneiro, pela amizade.

### **DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua fidelidade, amor e sabedoria concedida.

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Antônio Eduardo Furtini Neto, pelos valiosos ensinamentos, paciência, confiança, orientação e apoio fornecidos durante o curso.

Ao pesquisador Álvaro Vilela de Resende, pela co-orientação, pelas valiosas sugestões, paciência e amizade.

Ao Professor Valdemar Faquin, pelas sugestões no ato da defesa e amizade.

À Luciana, pelo apoio, amizade e confiança.

Aos amigos, José Zilton, Fabiano, José Roberto (Pezão) e Álvaro, pela amizade e grande ajuda na condução do experimento.

Aos amigos e colegas de curso, Josinaldo Lopes Araújo, Evaldo, Geovana, Tiago Bernardes, Lúcio, Sandro, Tácio, Flávio, Antônio (Toninho), Bruno Dias, José Roberto, Leônidas, Ivana, Adriana, Alessandra, Geila, Paulo Roberto Landgraf, Breno e Cristiano.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Fósforo no solo.....	4
2.2 Fontes de fósforo e modos de aplicação .....	5
2.3 Fósforo na planta.....	6
2.4 Zinco no solo.....	8
2.5 Zinco na planta.....	9
2.6 Interação fósforo-zinco .....	11
3.0 Material e métodos.....	18
3.1 Experimento de campo .....	18
3.2 Avaliação do estado nutricional e produção do milho.....	23
3.3 Análises estatísticas.....	24
4.0 Resultados e discussão.....	25
4.1 Primeiro cultivo.....	25
4.1.1 Matéria seca de plantas e peso de grãos.....	25
4.1.2 Teores foliares de fósforo, zinco e relação P/Zn na folha.....	27
4.1.3 Teores de fósforo, zinco e relação P/Zn nos grãos.....	34
4.1.4 Acúmulo de fósforo e zinco nos grãos.....	40
4.2. Segundo cultivo.....	42
4.2.1 Matéria seca de plantas e peso de grãos.....	42
4.2.2 Teores foliares de fósforo, zinco e relação P/Zn na folha.....	44
4.2.3 Teores de fósforo, zinco e relação P/Zn nos grãos.....	48

4.2.4 Acúmulo de fósforo e zinco nos grãos.....	53
4.3 Considerações finais .....	55
5 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXO.....	67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Principais atributos químicos e físicos do solo (0-20 cm de profundidade) antes da aplicação dos tratamentos.....	19
2	Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.....	20
3	Datas de semeadura e adubações de plantio e de cobertura dos dois cultivos de milho.....	21
4	Matéria seca da parte aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e peso de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do milho, em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2000/01).....	26
5	Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn na folha do milho, em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (safra 2000/01).....	29
6	Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn nos grãos de milho, em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (safra 2000/01).....	37
7	Acúmulo de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e zinco ( $\text{g ha}^{-1}$ ) nos grãos de milho, em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2000/01).....	41
8	Matéria seca da parte aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e peso de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do milho, em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2001/02).....	43
9	Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn nas folhas de milho, em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (safra 2001/02).....	45

10	Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn nos grãos de milho, em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (safra 2001/02).....	50
11	Acúmulo de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e zinco ( $\text{g ha}^{-1}$ ) nos grãos de milho, em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2001/02).....	54

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Dados pluviométricos referentes aos períodos de condução dos dois cultivos de milho.....	23
2	Teor de fósforo na folha, em função de doses de $P_2O_5$ . Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2000/01).....	28
3	Relação P/Zn na folha, em função de doses de fósforo para as fontes ST e FR (safra 2000/01).....	33
4	Teor de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo para o FR aplicação no sulco (safra 2000/01).....	35
5	Teor de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo para o ST aplicado no sulco e a lanço (safra 2000/01).....	35
6	Relação P/Zn nos grãos, em função de doses de fósforo para ST a lanço e FR no sulco (safra 2000/01).....	39
7	Acúmulo de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo para o ST aplicado no sulco (safra 2000/01).....	41
8	Teor de fósforo nas folhas de milho, em função de doses de $P_2O_5$ . Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2001/02).....	46
9	Relação P/Zn na folha do milho, em função de doses de $P_2O_5$ . Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2001/02).....	48

10	Teor de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo para o ST no sulco e FR a lanço (safra 2001/02).....	49
11	Teor de zinco nos grãos, em função de doses de fósforo para o FR aplicado a lanço e no sulco (safra 2001/02).....	51
12	Relação P/Zn nos grãos do milho, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2001/02).....	53
13	Acúmulo de fósforo nos grãos, em função de doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2001/02).....	55

## RESUMO

CARNEIRO, Leandro Flávio. **Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho.** 2006. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

O conhecimento da interação P-Zn é importante para o adequado manejo da fertilidade dos solos, principalmente em solos tropicais, os quais apresentam baixa disponibilidade natural desses nutrientes e é comum a utilização de altas doses de P. No presente trabalho, objetivou-se avaliar a interação P-Zn no milho em função de doses, fontes e modos de aplicação de fósforo, durante dois cultivos sucessivos, num Argissolo Vermelho típico, textura argilosa, na região do Cerrado. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, num esquema fatorial  $3 \times 2 \times 2 + 1$ , envolvendo três doses de P (180, 360 e 540 kg ha<sup>-1</sup>), duas fontes (superfosfato triplo – ST e fosfato natural reativo de Arad - FR), duas formas de aplicação (a lanço em área total e no sulco de plantio, ambas no primeiro ano) e uma testemunha (sem P) como tratamento adicional. O fósforo foi fornecido considerando-se os teores totais do nutriente nas fontes. Determinaram-se o peso de matéria seca da parte aérea e de grãos, os teores de P, Zn e a relação P/Zn nas folhas e nos grãos e o acúmulo de P e Zn nos grãos. No primeiro cultivo, os teores de P nas folhas foram maiores com a aplicação de ST. O contrário ocorreu com os teores de Zn, os quais diminuíram, principalmente nos tratamentos com ST aplicado no sulco de semeadura, alcançando valores tidos como deficientes. Uma relação P/Zn na folha de 198 indicou desequilíbrio entre esses nutrientes, sem, contudo, afetar a produção de matéria seca e de grãos. Os teores de Zn e relação P/Zn nos grãos apresentaram-se em equilíbrio, diferentemente do que foi observado nas folhas. No segundo cultivo, os teores de P, de Zn e a relação P/Zn situaram-se, em geral, dentro dos padrões normais para o milho.

---

<sup>1</sup> Comitê orientador: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto (orientador) – UFLA.  
Pesq. Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

## ABSTRACT

CARNEIRO, Leandro Flávio. **Sources, doses and manners of phosphorous application on phosphorous-zinc interaction in corn.** 2006. 75p. Dissertation (Master in Soils and Plant Nutrition)-Federal University of Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

The knowledge of the interaction of P-Zn is important for the appropriate management of soil fertility, mainly in tropical soils, which present a low natural availability of those nutrients and the use of high doses of P is common. In the present work, the objective was to evaluate the interaction of P-Zn in corn as a function of doses, sources and manners of phosphorous application, during two successive cultivations, in a typical Red Argisol, loamy texture, in the area of the Savannah. The experimental design was random blocks with four replacation, in a 3x2x2+1factorial outline, involving three doses of P (180, 360 and 540 kg ha<sup>-1</sup>), two sources (triple superphosphate-ST and Arad phosphate rock - FR), two application manners (casting on the total area and in the planting furrow, both in the first year) and a control (without P) as an additional treatment. The phosphorous was supplied considering the total levels of the nutrient in the sources. The dry matter weight of the aerial part and of grains, levels of P, Zn and the relationship of P/Zn in the leaves and in the grains and accumulation of P and Zn in the grains were determined. In the first cultivation, the levels of P in the leaves were larger with the application of ST. The opposite happened with the levels of Zn, which had decreased, mainly in the treatments with ST applied in the seed furrow, reaching deficient values. A relationship P/Zn in the leaf 198, indicated an imbalance among those nutritients without affecting, however, the dry matter and grain production. The levels of Zn and P/Zn relationship in the grains presented themselves in balance, different from what was observed in the leaves. In the second cultivation, the levels of P, Zn and the P/Zn relationship showed to be, in general, within the normal standard for corn.

---

<sup>1</sup>Comitê orientador: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto (orientador) – UFLA.  
Pesq. Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira passa por uma fase em que a produtividade, a eficiência, a lucratividade e a sustentabilidade dos processos produtivos são aspectos da maior relevância. Neste contexto, é muito importante o estudo do equilíbrio e da interação entre os nutrientes no sistema solo-planta. Uma interação clássica entre os nutrientes é a que ocorre entre o P e o Zn. É um fenômeno complexo e pouco entendido, porém, de maneira geral, a presença de altas concentrações de fósforo no solo compromete o aproveitamento de zinco pelas plantas.

O fósforo é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades no Brasil, dada sua carência generalizada e baixa disponibilidade em solos, devido à forte tendência de reagir com componentes do mesmo, formando compostos de baixa solubilidade. Essa carência está relacionada ao fenômeno de fixação, envolvendo reações de precipitação e adsorção, principalmente nos solos muito intemperizados, ácidos e oxidados. Portanto, ao contrário dos demais nutrientes, a adubação com P assume a particularidade de aplicações em quantidades maiores às exigidas pelas plantas. Os solos brasileiros são ricos em óxidos hidratados de ferro e de alumínio, os quais, com a caulinita, perfazem a maior parte da composição mineralógica da fração argila do solo, que é a mais ativa e na qual ocorrem as reações de P com esses elementos (Raij, 2004).

As fontes de fósforo podem ser divididas em solúveis, pouco solúveis e insolúveis em água. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo. Os fosfatos solúveis, como o superfosfato triplo, têm a sua eficiência diminuída ao longo do tempo, devido ao processo de fixação de P. Já os fosfatos naturais, que são insolúveis

em água, se dissolvem lentamente e tendem a aumentar a disponibilidade de P para as plantas com o tempo (Korndorfer, 1999; Horowitz & Meurer, 2004).

Com relação ao Zn, problemas têm surgido em face da incorporação ao processo produtivo de áreas de fertilidade marginal e, ainda, em decorrência do esgotamento gradativo de alguns solos em áreas de cultivo tradicional, onde não foi feita a reposição desse micronutriente. Dessa maneira, vários trabalhos conduzidos em casa de vegetação e campo têm demonstrado que a adição desse micronutriente promove incrementos significativos na produção de milho (Galvão, 1995).

A exigência quantitativa em zinco é variável em função de espécies e cultivares, encontrando-se na faixa de 20 a 50 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca, sendo freqüente o aparecimento de sintomas de deficiência quando são encontrados teores inferiores a 20 mg kg<sup>-1</sup> (Furlani & Furlani, 1996). Para a cultura do milho, a faixa de suficiência sugerida é de 15 – 50 mg kg<sup>-1</sup> (Fornasieri Filho, 1992; Bull, 1993; Malavolta et al., 1997).

A cultura do milho no Brasil vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos de produtividade e maior requerimento de zinco. Além disso, dois processos indiretos agravam a problemática desse micronutriente: a calagem e a adubação fosfatada. A calagem, porque eleva o valor do pH do solo e conseqüentemente os teores de cálcio, de carbonatos e de hidroxilas, fazendo com que se formem precipitados insolúveis de zinco, como zincatos, carbonatos e hidróxidos. A adubação fosfatada, porque é normalmente feita com formas solúveis de fósforo, fazendo com que ocorra um processo antagônico durante a absorção radicular de zinco e também nos processos de translocação da raiz para as partes vegetativas aéreas (Souza et al., 1985).

Considerando-se esses aspectos, pode-se pressupor que a interação entre fósforo e zinco seja importante para o manejo da fertilidade de solos tropicais,

nos quais é bastante comum a utilização de altas doses de fósforo, em solos com baixa disponibilidade natural de fósforo e zinco. Nesse contexto, objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a interação fósforo-zinco na cultura do milho, em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo em dois cultivos consecutivos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Fósforo no solo**

Quando um fertilizante fosfatado de qualquer origem é adicionado ao solo, ocorre uma seqüência de eventos físico-químicos que transforma esse fosfato em substâncias complexas, as quais passam a governar a disponibilidade desse nutriente no solo (Kaminski & Peruzzo, 1997).

A maior parte do fósforo adicionado ao solo fica adsorvida nas superfícies de argilas, óxidos de ferro, alumínio, carbonatos de cálcio e também na matéria orgânica, por ligações covalentes de alta energia. Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio (maioria dos solos tropicais), são mais importantes as combinações de fósforo com ferro e alumínio, enquanto que, em solos neutros ou calcários, aparecem mais fosfatos de cálcio, de baixa solubilidade, resultando, portanto, em baixos teores de fósforo na solução do solo e restrição ao seu aproveitamento pelas plantas (Raij, 1991).

O fósforo, ainda sujeito à dessorção, é retido com mais energia com o passar do tempo, adquirindo uma constituição mineralogicamente mais estável e de solubilização mais difícil. Todavia, parte do P retido é aproveitada pelas plantas, e a magnitude dessa recuperação depende da espécie cultivada, textura, dos tipos de minerais de argila e da acidez do solo. Além disso, dose, fonte, granulometria e forma de aplicação do fertilizante fosfatado, rotação de culturas e sistemas de preparo do solo também influenciam nesse processo (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999; Souza & Lobato, 2004; Raij, 2004).

## **2.2 Fontes de fósforo e modos de aplicação**

Dentre os macronutrientes primários (N, P e K), o P é o que apresenta a maior variação quanto aos tipos de fertilizantes disponíveis no mercado, os quais são classificados quanto a sua solubilidade. Conhecendo-se o produto e sua solubilidade, pode-se, de maneira geral, prever a sua eficiência agrônômica e a melhor forma de utilização (Souza et al., 2002).

O superfosfato triplo (ST) e o fosfato reativo de Arad (FR) são importantes fontes de fósforo comercializadas no Brasil e apresentam diferentes solubilidades. O ST tem, em média, 90% do P total solúvel, dissolvendo rapidamente no solo, enquanto o FR apresenta em torno de 8%-12% do P total solúvel. O ST é produzido mediante purificação e concentração da matéria-prima com o uso de ácidos (principalmente  $H_2SO_4$  e  $H_3PO_4$ ) e o FR é produto apenas de moagem da rocha fosfática de origem sedimentar (Rajan et al., 1996; Kaminski & Peruzzo, 1997).

Como os fosfatos solúveis reagem com maior intensidade no solo e, normalmente, fornecem P solúvel ao sistema a taxas maiores, são fontes mais eficientes do que os fosfatos naturais em curto prazo. Entretanto, o fósforo liberado pode ser rapidamente convertido para formas menos disponíveis às plantas. Já os fosfatos naturais reativos (por exemplo, fosfato de Arad), que reagem no solo mais lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório, pois liberam o nutriente de forma mais lenta, minimizando o processo de fixação. Por isso, o somatório da eficiência das fontes reativas, quando estimada por períodos longos, pode se igualar aos fosfatos solúveis. Nesta situação, deixa de existir a correlação entre a eficiência e a solubilidade dos fosfatos (Novais & Smyth, 1999; Resende, et al. 2006).

Anghinoni et al. (1992) avaliaram os efeitos da aplicação de diferentes doses de ST em diversas frações de solo em um Podzólico Vermelho escuro, textura franco-argilosa. Segundo os autores, as menores doses apresentaram maior eficiência quando misturadas com pequenas frações do solo e, à medida que se aumentou a dose de ST, frações intermediárias passaram a ser mais eficientes, até que o efeito da mistura do ST com as frações de solo passou a não ser importante.

A utilização adequada de fosfatos naturais quanto ao modo de aplicação leva em consideração vários fatores, tais como: reatividade no solo, granulometria, pH do solo, efeito residual e sistema de cultivo (Lopes, 1999; Novais, 1999). Os fosfatos naturais necessitam da presença de prótons ( $H^+$ ) para que alguma dissolução se inicie. Outro fator importante que interfere na solubilização dos fosfatos naturais é o dreno de Ca e P dos sítios de dissolução da partícula do mineral (Rajan et al., 1996; Novais & Smyth, 1999).

Resende et al. (2006) avaliaram a adubação fosfatada para o milho durante três cultivos sucessivos com diferentes fontes e modos de aplicação em Argissolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, fornecendo  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . De maneira geral, quanto à produção de grãos, a aplicação do ST apresentou melhor resposta nos dois primeiros anos, sendo menos efetiva no terceiro cultivo. Por outro lado, o desempenho do FR melhorou seguidamente ao longo dos cultivos, proporcionando, no terceiro cultivo, maior peso de grãos quando aplicado no sulco de plantio.

### **2.3 Fósforo na planta**

A deficiência de fósforo nas plantas afeta a síntese de importantes compostos responsáveis pelo crescimento das plantas, portanto, os sintomas de deficiência no milho manifestam-se já nos primeiros estádios de

desenvolvimento. As plantas apresentam crescimento retardado e colmos e folhas com coloração arroxeadas. Na fase reprodutiva, sua deficiência provoca o aparecimento de espigas malformadas, tortas e com falhas nas fileiras de grãos, maturidade retardada e desuniforme (Mengel & Kirkby 1987; Fornasiere Filho, 1992; Novais & Smith, 1999).

O teor de fósforo em plantas deficientes é, geralmente, muito baixo, cerca de  $0,1 \text{ g kg}^{-1}$  de P na matéria seca (MS). Cereais e forrageiras supridas adequadamente com fósforo apresentam um teor de P em torno de  $0,3$  a  $0,4 \text{ g kg}^{-1}$  do P na MS, durante o estágio de crescimento vegetativo. Geralmente o teor de fósforo é maior em plantas jovens e nos órgãos. Na palha de cereais, está fica em torno de  $0,1$ - $0,15 \text{ g kg}^{-1}$ ; já em sementes e grãos, em torno de  $0,4$ -  $0,5 \text{ g kg}^{-1}$  da MS. Isso mostra que, durante a formação de grãos e sementes uma quantidade considerável de fósforo é translocada das folhas e caules para os grãos (Mengel & Kirkby, 1987).

Barreto & Fernandes (2002) avaliaram o efeito de diferentes doses e modos de aplicação de adubos fosfatados em um Argissolo Amarelo textura média, observando que, com o aumento das doses de fósforo ( $0$  a  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), os teores foliares de P no milho aumentaram linearmente, porém, com efeito mais pronunciado para as plantas adubadas a lanço ( $0,12$  a  $0,27 \text{ dag kg}^{-1}$ ) em comparação à aplicação no sulco de plantio ( $0,12$  a  $0,21 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Segundo os autores, este resultado, provavelmente, está relacionado com a baixa capacidade de adsorção de P do solo em estudo. Maiores teores de fósforo nas folhas do milho resultaram em maiores produtividades de grãos por kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado, as quais foram de  $31,6$  e  $23,4 \text{ kg}$ , para aplicação a lanço e em sulco, respectivamente.

## 2.4 Zinco no solo

O zinco no solo se encontra sob as mais variadas formas; as formas do zinco na solução estão relacionadas aos valores de pH dos solos. De maneira geral, para solos com pH até 7,7, a forma predominante é  $Zn^{+2}$ , pois, com o aumento do pH, formam-se compostos insolúveis de Zn, como  $Zn(OH)_2$  e  $ZnCO_3$ . Para cada aumento de uma unidade de pH, a solubilidade das formas de Zn cai aproximadamente 100 vezes (Lindsay, 1979). Ainda existem formas mais complexas do zinco com ligantes inorgânicos, como, por exemplo, fosfato  $[Zn_3(PO_4)_3 \cdot 4H_2O]$ , zincato de cálcio, óxidos e silicatos. O zinco também pode se ligar a compostos orgânicos (quelatos), os quais podem representar cerca de 75% do zinco da solução (Stevenson & Ardakani, 1972; Lindsay, 1979; Souza & Ferreira, 1991; Raiy, 1991).

Os processos de adsorção de Zn a constituintes do solo são o principal mecanismo de controle da dinâmica do zinco. Várias características químicas (pH, CTC, teor de matéria orgânica, cátions e ânions solúveis) e mineralógicas (tipo e teor de argila e hidróxidos de Al e Fe) influenciam as reações de adsorção de Zn no solo (Shuman, 1975; Oliveira, 1999).

A fração orgânica do solo também possui propriedades de adsorção e apresenta uma alta afinidade com os cátions, devido aos sítios para a troca desses elementos. Os principais grupos funcionais que tomam parte nas reações de adsorção e quelação são os carboxílicos, os fenólicos, os alcoólicos, os enólicos e alguns tipos de carbonila (Stevenson & Ardakani, 1972).

A adsorção do zinco com óxidos de ferro, alumínio e manganês está diretamente relacionada com o valor de pH do solo. Estes óxidos apresentam cargas dependentes de pH, as quais, com a elevação do pH, aumentam as cargas negativas de superfície de óxidos (CTC) para a adsorção de zinco (Souza & Ferreira, 1991).

Segundo Saeed & Fox (1979), a adição de fosfatos aumenta a adsorção de zinco, especialmente em solos ricos em óxidos de ferro e de alumínio. A capacidade de adsorção de zinco é aumentada e a sua solubilidade (fator intensidade) decresce, a não ser que a quantidade de zinco ativo também sofra elevação. Portanto, os fosfatos afetam a disponibilidade de Zn por reações de precipitação e por aumentarem a adsorção do micronutriente no solo.

Couto et al. (1992) coletaram amostras superficiais (0-20 cm) de doze solos sob cerrado, os quais variaram entre classes de solos e teores de argila e adicionaram diferentes doses de zinco. Os autores observaram que os níveis críticos no solo e na planta de milho variaram, respectivamente, de 1,0–3,2 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich 1) e de 15,9–19,5 mg kg<sup>-1</sup>. Essas variações indicam haver interferência de características dos solos, tais como teor de argila, pH, CTC e matéria orgânica, nos níveis críticos no solo e planta, um aspecto que dificulta a definição de critérios agronômicos de suficiência de Zn em sistemas agrícolas.

## **2.5 Zinco na planta**

As raízes absorvem o zinco predominantemente na forma de Zn<sup>+2</sup>, podendo também ocorrer absorção na forma de Zn-quelato. Sugere-se que exista na planta uma fração ativa e outra inativa de zinco, pois, aparentemente, o zinco é retido nos vacúolos complexado com ácidos orgânicos, o que pode reduzir sua toxidez e, ainda, posteriormente, possibilitar sua redistribuição para os grãos (Ferreira et al., 2001; Dechen & Haag, 1991).

Rodrigues et al. (1997), estudando a mobilidade do zinco, relataram que existe ainda muita divergência em relação ao assunto e citaram trabalhos mostrando que as formas de zinco aplicadas, o estado nutricional da planta e a maturidade das folhas são fatores importantes que podem afetar a translocação do zinco na planta.

Em estudos utilizando o Zn quelatado na forma de Zn-ETDA, Ferradon & Chanel (1988) constataram maior mobilidade do elemento nesta forma do que na forma de sulfato, sugerindo que, no floema, o ETDA funciona de maneira semelhante a um carregador natural. Dessa forma, o zinco quelatado não precipitaria formando óxidos, hidróxidos e fosfatos no floema.

Pearson & Rengel (1994) relatam que plantas de trigo crescidas em condições de suficiência e deficiência de Zn também apresentaram comportamento diferenciado na redistribuição. As plantas sob condições de suficiência retranslocaram quantidades maiores do nutriente.

Rosolem & Franco, (2000) avaliaram o transporte de zinco nas raízes do milho, quando aplicado via radicular, em diferentes doses (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) e com e sem adubação foliar, em um período de 40 dias. Estes autores observaram que os teores de zinco nas raízes aumentaram com as concentrações de zinco na solução e que este aumento foi mais intenso nas plantas que receberam aplicação foliar, mostrando, assim, uma redistribuição maior do zinco quando os teores foliares estavam na faixa de suficiência.

Grande parte dos sintomas de deficiência de Zn está associada a distúrbios no metabolismo das auxinas, principalmente do ácido indolacético (AIA), os quais são: folha pequena, formação de roseta, morte de gemas terminais e menor vingamento floral. O modo de ação do Zn no metabolismo das auxinas ainda não está bem esclarecido; o que se sabe é que o Zn é necessário para a síntese do triptofano, que é um aminoácido precursor do AIA (Faquin, 1994; Marschner, 1995;).

No milho, os sintomas de deficiência compreendem clorose interneval nas folhas mais velhas, que se transforma rapidamente em uma faixa larga e descolorida; os internódios encurtam-se e, sob deficiência severa, as folhas que estão se desenrolando ficam esbranquiçadas; a planta não forma espiga e o sistema radicular fica muito superficial (Fornasier Filho, 1992).

## **2.6 Interação fósforo-zinco**

O desenvolvimento das culturas depende de vários fatores, dentre os quais a disponibilidade de nutrientes em quantidade e em equilíbrio, pois a deficiência ou a toxidez de um determinado elemento influenciam a atuação dos demais, promovendo redução na produção das culturas. A interação P-Zn constitui um exemplo clássico da interferência de um elemento sobre o outro, a qual é conhecida, na literatura, como “deficiência de Zn induzida pelo fósforo”. Uma elevada disponibilidade de P pode induzir deficiência de Zn, ocorrendo desordem no crescimento das plantas, a qual pode ser prevenida ou corrigida pelo fornecimento do micronutriente (Olsen, 1972).

Existe muita controvérsia quando se discute a interação P-Zn. Diversos autores afirmam que os problemas gerados pela interação ocorrem no solo, onde a disponibilidade e a taxa de difusão de Zn são reduzidas por um elevado suprimento de P. Outros relatam que a interação ocorre na planta em função do efeito de diluição ou interferência do P na absorção, translocação e utilização do Zn pela planta. De maneira geral, os efeitos do P sobre a resposta da planta ao Zn são complexos, envolvendo fenômenos distintos, que podem ocorrer separadamente ou em conjunto, dependendo da espécie e das condições ambientais (Olsen, 1972; Loneragan et al., 1979; Loneragan & Webb 1993; Marschner, 1995).

A adubação pesada de fosfato pode afetar o pH do solo, pois, com a dissolução do fertilizante, forma-se uma solução que possui pH variável em função do tipo de fosfato. O fosfato diamônio (DAP) produz uma solução com pH em torno de 8,0. Já o fosfato monocalcário contido no ST gera pH em torno de 1,0, sendo, portanto, capaz de dissolver os minerais do solo, causando liberação de Zn presente na sua estrutura. O fósforo também pode reagir com

componentes do solo e alterar o pH, principalmente em solos ricos em óxidos de Fe e Al, os quais reagem com o P, produzindo oxidrilas (Lindsay, 1979; Bohn et al., 1985).

Saeed & Fox (1979), avaliando o efeito da adubação fosfatada e da mineralogia do solo na adsorção de Zn, constataram que a adição de fosfatos aumenta a adsorção de zinco, especialmente nos solos ricos em óxidos de ferro e alumínio. A capacidade de adsorção de zinco é aumentada e sua solubilidade, fator intensidade, decresce, pois a adubação fosfatada aumenta as cargas negativas dos sistemas de óxidos de ferro e alumínio, alterando a disponibilidade de zinco no solo, e, portanto, sua absorção pelas plantas.

Outra hipótese relacionadas à interação fósforo-zinco no solo diz respeito à formação de precipitados na forma de  $Zn_3(PO_4)_2$ ,  $ZnSiO_3$  e  $ZnSO_4$ , porém, esta hipótese parece ser inconsistente, pois estes compostos são considerados boas fontes de Zn para as plantas (Lindsay, 1972).

A interação mais comum é encontrada quando a adição de P promove crescimento suficiente para diminuir a concentração de Zn nas plantas ao nível de deficiência. Isso ocorre devido ao aumento da taxa de crescimento pela aplicação de P, mas a taxa de absorção de zinco não aumenta de forma rápida o suficiente para manter a concentração necessária na parte aérea, promovendo uma diluição do Zn ( Efeito de diluição) (Olsen 1972, Loneragan & Weeb 1993).

Marques (1990) avaliou a interação fósforo-zinco em mudas de seringueira e observou que tanto nas folhas quanto no caule ocorreu diminuição do teor com o aumento paralelo do acúmulo de Zn, devido às doses crescentes de P, o que foi explicado pelo efeito de diluição. Manarin (2005), trabalhando com *Panicum maximum* cv Tanzânia e combinando doses de P e Zn em solução nutritiva, em dois cortes, também observou uma diminuição no teor de zinco em diferentes partes das plantas devido ao efeito de diluição.

Em relação à absorção, segundo Loneragan & Weeb (1993), alguns fatores podem explicar a diminuição do zinco em condições de alto fornecimento de P, tais como: cátions acompanhantes e íons de  $H^+$  gerados pelas fontes de P, porém, são mais importantes em soluções nutritivas. Loneragan et al. (1979), verificando a redução na absorção de Zn, sugeriram que ela poderia ter sido causada pela aplicação de P ou que o Ca, oriundo do fertilizante fosfatado, teria inibido a absorção do micronutriente.

Um princípio bem conhecido no caso do zinco é que as exigências das raízes são atendidas primeiro e depois ocorre um significativo transporte para a parte aérea (Olsen 1972). Neste contexto, Carroll & Loneragan (1968) mediram a distribuição do zinco da raiz para a parte aérea em diferentes culturas sob concentrações variadas de zinco no solo, observando que, quando o crescimento foi limitado pela deficiência de zinco, as plantas apresentaram 35% do zinco absorvido nas raízes e, sob fornecimento ótimo, apresentaram 18% do zinco nas raízes e maior produtividade da parte aérea.

Dwivedi et al. (1975) conduziram um experimento com milho, combinando doses de P e Zn por dois anos consecutivos e observaram que altos níveis de P induziram deficiência de Zn e, nesta condição, observaram uma imobilização de Zn nas raízes em torno de 40% e, nos nós, 20% do total absorvido. Já em plantas com fornecimento normal em fósforo ( $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ), observaram 12% nas raízes e 6% nos nós, mostrando, portanto, que os padrões de distribuição do Zn no milho dependem do fornecimento de P para as plantas.

Youngdahl et al. (1977) avaliaram a distribuição do zinco da raiz para a parte aérea das plantas em diferentes níveis de P e observaram que a quantidade extraída de  $^{65}\text{Zn}$  da parede celular das raízes foi maior no tratamento com níveis altos de fósforo. Segundo os autores, o efeito do P na maior retenção do Zn poderia estar relacionado com a redução na esterificação de metil em ácido poligalacturônico, aumentando o número de grupos carboxílicos dissociados e,

conseqüentemente, as cargas negativas nas raízes, implicando numa menor disponibilidade de zinco para suprir a parte aérea.

Porém, Loneragan & Webb (1993) relatam que essa hipótese não está completamente elucidada, entretanto, sob condições de altas doses de fosfato, o P pode imobilizar o zinco nas raízes, formando fitatos de zinco.

Bahia & Braga (1974) avaliaram as relações entre a adubação fosfatada com o zinco na nutrição do milho e observaram que a adição de zinco tendeu a aumentar o teor do elemento nas raízes, quando na presença de P. Relataram, ainda, que a análise dos teores de zinco na folha lhes permitiu constatar que o nível de  $14 \text{ mg kg}^{-1}$  de zinco nas folhas (nível crítico), ou menos, só foi alcançado quando se aplicou a adubação fosfatada, suportando a afirmativa de que a adubação fosfatada reduziu o teor de zinco a limites críticos para a produção.

Outros trabalhos que buscam explicar a interação fósforo-zinco nas plantas referem-se a processos metabólicos, nos quais o comportamento do P e do Zn na planta muda em função da disponibilidade dos mesmos no meio. Entre o P e o Zn parece existir um antagonismo mútuo toda vez que ambos os nutrientes excedem seus valores ideais, mas, em todos os casos, o efeito da aplicação de P na deficiência do zinco tem sido aliviado pela adição de uma pequena quantidade do micronutriente na adubação.

Loneragan et al. (1982), combinando doses de P e Zn para o quiabo, observaram que, em condições de deficiência de Zn, ocorre um aumento considerável no acúmulo de P nas folhas, em função de uma maior absorção de P pelas raízes e transporte para a parte aérea. Nesse sentido, em condições de alto fornecimento de P, este se acumularia em níveis tóxicos nas folhas induzindo ou acentuando sintomas semelhantes à deficiência de Zn.

A deficiência de Zn parece desempenhar importante papel na manutenção da integridade e da seletividade das membranas da raiz. A

deficiência aumentaria a permeabilidade da plasmalema das células ao P. Assim, a absorção de P em plantas pode, em parte, ser a expressão de uma maior permeabilidade passiva da plasmalema das células das raízes ou de uma desregulação do controle do carregamento do xilema (Loneragan et al., 1982).

Huang et al. (2000) examinaram, em raízes de cevada, o efeito de níveis de zinco na expressão de genes responsáveis pela codificação de proteínas com alta afinidade pelo P, na absorção. Observaram que a expressão destes genes está intimamente relacionada com os níveis de zinco na planta, pois a sua deficiência afetou a codificação gênica em plantas crescidas em condições de suficiência e insuficiência de P, sugerindo que o Zn atua diretamente na transcrição.

Fernandes et al. (2003), avaliando o efeito do fósforo e do zinco sobre o crescimento de mudas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum) em casa de vegetação, observaram que, no tratamento com 450 mg kg<sup>-1</sup> de P e 5 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, as plantas apresentaram sintomas de deficiência de Zn semelhantes aos tratamentos que não receberam o micronutriente. Portanto, elevadas concentrações de P nas folhas induzem deficiência de zinco, mesmo este estando em concentrações adequadas nas folhas, indicando que o excesso de P aumenta a necessidade fisiológica de Zn para essa espécie.

Cakmak & Marschner (1987) verificaram que, em algodão, os sintomas de deficiência de Zn tornaram-se mais severos com o aumento da concentração de P na solução. Apesar de o teor foliar de Zn total não diminuir, sua disponibilidade fisiológica decrescia, o que foi constatado, por exemplo, pelas menores proporções de Zn extraído com água e pelas menores atividades da enzima superóxido dismutase nas folhas. Os altos teores de P na parte aérea podem, portanto, diminuir a solubilidade e a mobilidade do Zn, tanto entre as células como no transporte a longa distância.

Takkar et al. (1976), com o objetivo de avaliar as respostas em produção de milho para Zn, em função da fertilização com P em condições de campo,

observaram aumento na produção de grãos com o aumento nas doses de Zn, combinado com as maiores doses de P, indicando que a exigência do milho para o zinco aumentou nas maiores doses de P.

Alguns trabalhos evidenciam que o P pode interferir em funções metabólicas do Zn nas células e que as concentrações foliares de Zn não se correlacionam com os sintomas de deficiência e sim a relação P/Zn. Sumner & Farina (1986), estudando a interação P-Zn em várias culturas, observaram que, em baixa relação P/Zn obtida com baixos níveis de P, as produções foram baixas, compatíveis com os sintomas de deficiência de fósforo. Relações de P/Zn intermediárias (em torno de 100) foram obtidas quando ambos os nutrientes foram adicionados ao solo, refletindo em maiores produções. Nas maiores relações P/Zn, houve sintomas severos de deficiência de Zn e redução na produção .

Em condições de campo, Takkar et al. (1976) observaram, na cultura do milho, valores críticos da relação P/Zn em torno de 245 e 150 para grãos e folhas, respectivamente, acima dos quais o P induziu deficiência de zinco e resposta à aplicação do micronutriente seria esperada.

Verifica-se que o estudo da interação P-Zn, mesmo sendo considerado um assunto complexo e pouco entendido, é de grande importância para o adequado manejo da fertilidade nos solos tropicais. Nesses solos, normalmente, aplicam-se altas doses de fosfatos e de forma localizada, favorecendo elevada concentração de P no ambiente radicular, condição em que pode haver a interação P-Zn, afetando o desenvolvimento das culturas pela indução de deficiência do micronutriente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Boa Vista, situada no município de Itumirim, MG, a 21°19'02" de latitude Sul e 44°52'14" de longitude Oeste e altitude média de 871m. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, se encontra no limite entre Cwb e Cwa, caracterizado como temperado a temperado subtropical, com inverno seco.

A área experimental apresenta Argissolo Vermelho típico (antigo Podzólico Vermelho-Escuro) textura argilosa, fase cerrado. Antes da implantação do experimento, servia ao pastejo bovino, permanecendo coberta por vegetação espontânea denominada por capim braquiária (*Brachiaria brizantha*). Os atributos químicos e físicos do solo, previamente à instalação do experimento são expressos na Tabela 1. Salienta-se a baixa disponibilidade de fósforo pelos extratores Mehlich 1 (Alvarez V. et al., 1999) e resina de troca iônica (Raj et al., 1996).

#### 3.1 Experimento de campo

Um experimento para avaliar doses, fontes e modos de aplicação de P para o milho foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de um fatorial  $3 \times 2 \times 2 + 1$ , combinando três doses de fósforo (180, 360 e 540 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), duas fontes de P (superfosfato triplo, ST e fosfato reativo de Arad, FR), dois modos de aplicação (a lanço em área total e localizada no sulco de plantio) e uma testemunha sem fornecimento de fósforo (tratamento adicional).

**TABELA 1** Principais atributos químicos e físicos do solo (0-20 cm de profundidade), antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos	Argissolo Vermelho típico
pH (H <sub>2</sub> O)	5,2
P – Mehlich 1 (mg dm <sup>-3</sup> )	2,0
P – Resina (mg dm <sup>-3</sup> )	7,8
K (mg dm <sup>-3</sup> )	34,0
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,3
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,0
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,6
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,1
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,6
V (%)	24,2
m (%)	23,8
S – sulfato (mg dm <sup>-3</sup> )	12,4
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,6
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	46,6
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	6,4
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,5
P – remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	16,8
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	37
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	360
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	100
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	540

K = extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al = extração com KCl mol L<sup>-1</sup>; Cu, Fe, Mn e Zn = extrator DTPA; B = extração em água quente. Metodologias descritas em Embrapa (1999). Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

A área de cada parcela experimental foi de 27 m<sup>2</sup>, com cinco linhas de seis metros de comprimento, espaçadas de 0,9 metros entre si. Para fins de avaliação, foi considerada uma área útil central de 10,8 m<sup>2</sup> (três linhas de quatros de comprimento).

A quantidade a aplicar de cada fonte foi calculada com base no teor de  $P_2O_5$  total dos fertilizantes (Tabela 2). Todo o fósforo foi aplicado na época do plantio. No modo de aplicação a lanço, os fertilizantes foram distribuídos manualmente em toda a área da parcela experimental e incorporados, com enxada, a cerca de 10 cm de profundidade. Na aplicação localizada, os fertilizantes foram distribuídos no fundo do sulco de plantio. A adubação fosfatada foi realizada apenas no primeiro cultivo, sendo a colheita da safra do segundo ano resultante da resposta do milho ao efeito residual dos tratamentos.

**TABELA 2** Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.

Fertilizantes	Características			
	$P_2O_5$ total	$P_2O_5$ solúvel	CaO	Granulometria
	.....%.....			
ST	46,1	38,3 *	13,0	Granulado
FR	33,1	9,4 **	37,0	Farelado

ST – superfosfato triplo; FR – fosfato reativo Arad

\*  $P_2O_5$  solúvel em água \*\*  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100).

Foram conduzidos dois cultivos consecutivos de milho em condições de sequeiro, nos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002, utilizando-se, respectivamente, os híbridos triplos HT 9710-11 e HT 7105-3, desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo.

No primeiro ano, previamente ao preparo do solo, as áreas receberam calcário dolomítico. A dosagem foi determinada pelo método da curva de incubação em laboratório ( $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ ), visando elevar o pH em água para valores próximos de 5,5. O preparo do solo foi feito com aração e gradagens. Cerca de 40 dias após a calagem, foram abertos os sulcos de semeadura com implemento tratorizado, sendo aplicados os tratamentos em seguida.

O preparo do solo foi realizado apenas na primeira safra. Após a primeira colheita, os restos culturais (parte aérea do milho) foram removidos das parcelas, deixando-se o solo em pousio. Para o segundo cultivo, após a dessecação da vegetação espontânea surgida na entressafra, os sulcos de semeadura foram abertos com enxada, seguindo sua localização original.

Na Tabela 3 são descritas as datas de plantio e as adubações relativas a cada cultivo. Na definição das quantidades de nutrientes, utilizaram-se informações de análises do solo, tomando-se como referência as recomendações de adubação de milho no estado de Minas Gerais, para expectativas de produtividade acima de 8 t ha<sup>-1</sup> de grãos (Alves et al., 1999). Dependendo do ano em questão e dos insumos disponíveis, os nutrientes foram fornecidos como fertilizantes simples ou formulados.

**TABELA 3.** Datas de semeadura e adubações de plantio e de cobertura dos dois cultivos de milho.

Ano agrícola	Data de plantio	Adubação de plantio (kg ha <sup>-1</sup> )					Adubação de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )	
		N	K <sub>2</sub> O	S	B	Zn	N	K <sub>2</sub> O
2000/01	25/11/00	21 <sup>a</sup>	90 <sup>b</sup>	24 <sup>a</sup>	-	2,0 <sup>c</sup>	56 <sup>d</sup> x 3	3 <sup>d</sup> x 3
2001/02	20/11/01	21 <sup>a</sup>	90 <sup>b</sup>	24 <sup>a</sup>	-	2,0 <sup>c</sup>	78 <sup>d</sup> x 2	4 <sup>d</sup> x 2

Fertilizantes: <sup>a</sup> sulfato de amônio; <sup>b</sup> cloreto de potássio; <sup>c</sup> sulfato de zinco; <sup>d</sup> uréia + cloreto de potássio.

As adubações de plantio foram aplicadas no fundo do sulco de semeadura, com o auxílio de um equipamento manual de distribuição de fertilizantes. O contato direto do adubo com as sementes foi evitado separando-os com uma fina camada de terra. Foram distribuídas cerca de dez sementes de

milho por metro de sulco, com posterior desbaste, deixando-se cinco plantas por metro.

Dados de análise de solo referentes a cada tratamento, oriundos de amostragens após a adubação de plantio do primeiro e segundo cultivos, são apresentados nas Tabelas 1A e 2A, respectivamente. Conforme esperado, os teores de fósforo disponível pela resina de troca iônica e Mehlich 1 foram mais elevados nos tratamentos com aplicação localizada do nutriente e nas maiores doses. Com a reaplicação de Zn no sulco de semeadura do segundo cultivo, os teores do micronutriente aumentaram de forma expressiva (Tabela 2A), sendo interpretados como altos, de acordo com Alvarez V. et al. (1999).

As adubações de cobertura foram iniciadas a partir do estágio de 6 a 8 folhas, com intervalo médio de 10 dias entre aplicações, sendo os fertilizantes aplicados em filete ao lado da linha de plantas, sem incorporação. Procedimentos específicos para o controle de plantas daninhas e de insetos praga foram adotados quando necessário, com o uso de herbicidas e inseticidas apropriados, nas dosagens recomendadas para a cultura do milho.

Na Figura 1 são apresentados os dados pluviométricos referentes aos principais períodos de condução do experimento. Visualiza-se a inconstância do regime pluviométrico no primeiro cultivo, com períodos de suprimento subótimo de água, mormente no mês de janeiro, precedendo o florescimento do milho. De modo geral, as condições climáticas durante o segundo cultivo foram bem mais favoráveis à cultura, com maior quantidade de chuva e distribuição mais regular.

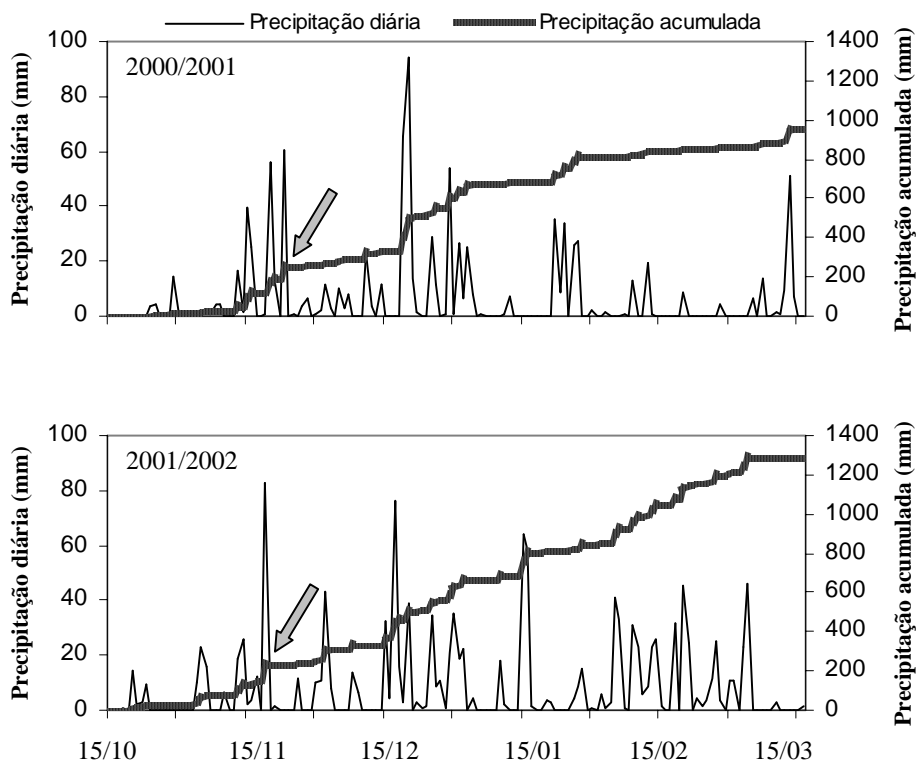


FIGURA 1 Dados pluviométricos referentes aos períodos de condução dos dois cultivos de milho (as setas indicam a época da sementeira).

### 3.2 Avaliações do estado nutricional e produção do milho

Nos períodos de florescimento do milho, foram coletadas amostras de folhas (primeira folha oposta e abaixo da espiga, seis folhas por parcela). O material foi secado em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, até peso constante e, em seguida, triturado, em moinho tipo Willey, para análises químicas.

Após digestão nitro-perclórica das amostras (Zaraski & Burau, 1977), foram determinados os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica, K por fotometria de chama (Malavolta et al., 1997), P por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974) e S por turbidimetria (Blanchar et al., 1965). O N total foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl após digestão sulfúrica (Bremner & Mulvaney, 1982) e o B pelo método da curcumina (Malavolta et al., 1997) em seguida à digestão do material por via seca (incineração). Embora não tenham sido abordados na discussão, os teores foliares médios dos nutrientes, com exceção do P e do Zn, são apresentados em anexo (Tabelas 3A e 4A).

Por ocasião das colheitas, as plantas foram cortadas próximo ao solo e as espigas separadas do restante da parte aérea, tomando-se o peso de plantas e, posteriormente, de grãos. Amostras de grãos, referentes aos diversos tratamentos, foram analisadas quanto ao teor de nutrientes pelos mesmos procedimentos descritos para a análise de folhas. Considerando-se os teores de fósforo e zinco nos grãos e nas folhas, foram calculadas as relações P/Zn nesses órgãos. Além disso, determinou-se o acúmulo de P e Zn nos grãos.

### **3.3 Análises estatísticas**

Os dados experimentais foram submetidos a análises de variância, testes de médias e de análises regressão, com auxílio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000). As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Equações de regressão foram ajustadas para os efeitos de doses de P. Por meio do teste F ( $P \leq 0,05$ ), obteve-se a significância do contraste, comparando-se a média dos tratamentos do fatorial com a testemunha.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Primeiro cultivo

#### 4.1.1 Matéria seca de plantas e peso de grãos

A análise de variância não mostrou efeito significativo dos tratamentos, no primeiro ano de cultivo, para a produção de matéria seca da parte aérea do milho (Tabela 5A). As diferenças do peso médio de plantas, em termos percentuais, considerando o maior valor menos o menor, para os fatores isolados, foram de 10%, 4,0% e 26% para fontes, modos de aplicação e doses, respectivamente (Tabela 4). A diferença percentual entre a maior e a menor produção de matéria seca, considerando todos os tratamentos (inclusive a testemunha), foi de 38%.

A ausência de efeitos significativos dos tratamentos no primeiro ano de cultivo, mesmo comparando-se o tratamento testemunha com a média do fatorial (Tabela 4), é um indicativo de que a quantidade inicial de fósforo existente no solo foi suficiente para atender às necessidades mínimas do milho para o desenvolvimento da planta. Portanto, observa-se a baixa eficiência dos extratores Mehlich 1 e da resina de troca iônica em detectar a disponibilidade inicial de P no solo, as quais foram interpretadas como muito baixa e baixa, respectivamente, segundo Alvarez V. et al. (1999) e Raij et al. (1996) (Tabela 1).

O nivelamento dos efeitos dos tratamentos deve estar relacionado com o fato de que a área já foi cultivada e adubada anteriormente. O efeito residual desta adubação teria influenciado na dinâmica do fósforo no solo, reduzindo as diferenças que, normalmente, seriam esperadas entre os tratamentos e, a presença do capim-braquiária por vários anos, antes da instalação do experimento, também pode ter contribuído para a ausência de efeito dos tratamentos. A gramínea é considerada eficiente na absorção de fósforo,

proporcionando uma condição em que o fósforo convertido para formas orgânicas seria biodisponível (Resende et al., 2006).

**TABELA 4** Matéria seca da parte aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e peso de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do milho, em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (Safrá 2000/01).

Doses de P	Matéria seca			Peso de grãos		
	Modos de aplicação			Modos de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
	.....Superfosfato Triplo.....					
180	4.167	4.980	4.572	4.281	4.313	4.297
360	4.167	5.440	4.803	4.014	5.210	4.612
540	5.301	5.417	5.359	4.156	4.644	4.400
Média	4.545	5.278	4.911	4.150 a A	4.722 a A	4.436
	.....Fosfato Reativo de Arad.....					
180	4.468	4.259	4.363	3.731	3.190	3.460
360	4.954	4.630	4.792	4.030	3.652	3.841
540	4.537	3.935	4.236	4.250	3.211	3.731
Média	4.653	4.275	4.464	4.003 a A	3.351a B	3.677
Testemunha	4.136 ns			3.316 ns		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas ou maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns = média do tratamento-testemunha não difere em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

Outro fator que pode ter contribuído para a ausência de efeitos entre os tratamentos quanto ao peso das plantas foi a deficiência hídrica em determinados períodos do primeiro cultivo (Figura 1), a qual, provavelmente, comprometeu o desenvolvimento do milho, nivelando os efeitos dos tratamentos.

A produtividade de grãos foi afetada pela interação dos fatores fontes x modos de aplicação de fósforo, no primeiro ano de cultivo (Tabela 5A).

Observa-se que, na média das doses, a aplicação de FR no sulco de plantio proporcionou menor produção de grãos quando comparado com ST. Já para a aplicação a lanço não houve diferença entre as fontes de fósforo. Também

não houve diferença em relação ao modo de aplicação, considerando cada fonte isoladamente (Tabela 4).

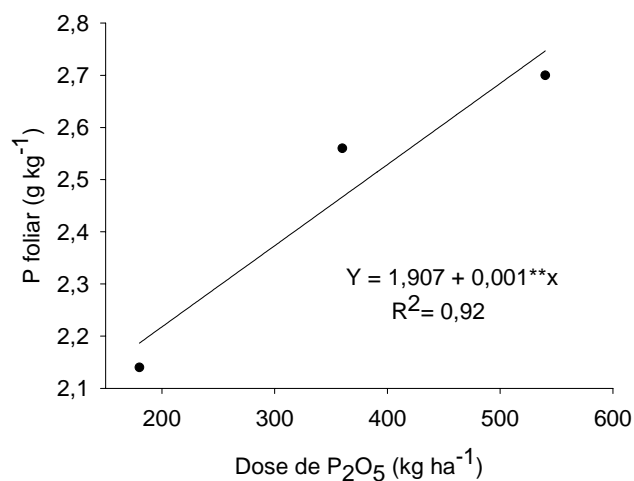
Esses resultados indicam que o fosfato reativo teve a sua eficiência aumentada quando distribuído a lanço e incorporado ao solo, promovendo, na média das doses aplicadas, produção de grãos equivalente à obtida com o superfosfato triplo. Lopes (1999) relata que a solubilidade dos fosfatos naturais é aumentada na presença de prótons ( $H^+$ ), portanto, quando incorporados no solo, esse contato é favorecido, aumentando a solubilização do fosfato.

De acordo com a recomendação de fósforo para o milho no estado de Minas Gerais (Alves et al., 1999), em condições de baixa disponibilidade inicial de fósforo no solo, as doses de fósforo aplicadas no experimento são altas para uma produtividade de  $5,2 \text{ t ha}^{-1}$  (maior valor, Tabela 4). Isso reforça o fato de que, devido à falta de chuva, a eficiência da adubação fosfatada e, principalmente, o potencial de produção do genótipo foram afetados, nivelando por baixo os efeitos dos tratamentos.

#### **4.1.2 Teores foliares de fósforo e zinco e relação P/Zn na folha**

A análise de variância mostrou interação significativa entre fontes x modos de aplicação de fósforo para os teores de Zn e relação P/Zn na folha. Houve interação também entre fontes x doses de fósforo, para a relação P/Zn na folha. Já para os teores de fósforo na folha, os três fatores apresentaram efeitos isolados (Tabela 5A).

Os teores de P nas folhas do milho foram em média maiores com o uso do ST em relação ao FR (Tabela 5). A aplicação das fontes no sulco de plantio proporcionou maior concentração de P ( $2,6 \text{ g kg}^{-1}$ ) em comparação com a aplicação a lanço ( $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ ). Com o aumento das doses de P no solo, os teores de fósforo na folha aumentaram de forma linear (Figura 2).



**FIGURA 2** Teor de fósforo na folha, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (Safrá 2000/01). (\*\*) significativo a 1%.

Deve-se notar que os tratamentos que receberam a menor dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (180 kg ha<sup>-1</sup>) apresentaram teores foliares abaixo do limite de 2,5 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 5), tido como adequado para o milho em Minas Gerais, independente do modo de aplicação. Porém, esses valores superaram o limite mínimo de 1,8 g kg<sup>-1</sup>, considerado adequado para a cultura em solos de cerrado (Oliveira, 2002).

**TABELA 5** Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn na folha do milho em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (Safrá 2000/01).

Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$	Fósforo			Zinco			Relação P/Zn		
	Modo de aplicação			Modo de aplicação			Modo de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
.....Superfosfato Triplo.....									
180	2,2	2,2	2,2	22	14	18	100	156	128
360	2,5	2,6	2,5	20	13	16	128	198	163
540	2,6	2,9	2,8	21	13	16	129	241	185
Média	2,5	2,6	2,5 A	21 a B	14 b B	17	119 b A	198 a A	159
.....Fosfato Reativo de Arad.....									
180	2,0	2,1	2,0	24	29	27	87	74	80
360	2,3	2,7	2,5	31	29	30	76	95	86
540	2,6	2,6	2,6	27	27	27	98	99	98
Média	2,3	2,5	2,3 B	27 a A	28 a A	28	87 a B	89 a B	88
Testemunha		1,6 *			33 *			50 *	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas ou maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* = média do tratamento-testemunha difere em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

A aplicação de ST no sulco de plantio proporcionou menores teores de zinco nas folhas (Tabela 5), os quais foram inferiores ao valor de referência ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para a cultura do milho (Fornasieri Filho, 1992; Bull, 1993; Malavolta et al., 1997; Martinez 1999). Os tratamentos com aplicação do ST a lanço e aqueles em que a fonte de P foi o FR apresentaram teores de Zn mais elevados, atendendo aos limites de suficiência indicados para a cultura.

Galvão (1995) realizou um experimento em campo, num solo argiloso, com a cultura do milho, combinando doses de zinco e calcário e observou que o nível crítico de Zn nas folhas foi de  $18,5 \text{ mg kg}^{-1}$ . Ainda, Couto et al. (1992), em casa de vegetação, combinando diferentes doses de Zn e solos, observaram níveis críticos entre  $15,9\text{--}19,5 \text{ mg kg}^{-1}$  para a cultura do milho.

A problemática da interação fósforo-zinco parece mais evidente com a aplicação de fontes mais solúveis, mesmo com aplicações de zinco no plantio, pois o uso de ST, independente do modo de aplicação, proporcionou menor teor de zinco foliar em relação ao FR (Tabela 5).

Sugere-se que possa ter havido insolubilização do Zn pelo fosfato na superfície das raízes (reduzindo a absorção) ou inibição não-competitiva da absorção de Zn pelo P (Malavolta et al.1997), devido à presença de concentrações elevadas de P quando foi usado o ST, principalmente de forma concentrada no sulco de semeadura, ocorrendo a chamada interação fósforo-zinco.

No caso em questão, a redução do teor foliar de Zn não poderia ser explicada pelo efeito de diluição (Jarrel & Beverly, 1981), uma vez que não houve maior influência dos tratamentos na produção de matéria seca da parte aérea do milho (Tabela 4). Já as diferenças dos teores de Zn nas folhas, em termos percentuais, considerando o maior valor menos o menor, para os fatores isolados, foram de 64%, 14% e 87% para fontes, modos de aplicação e doses de fósforo, respectivamente (Tabela 5). É importante destacar, ainda, que a redução

nos teores de Zn na folha não teria maior importância se estes estivessem acima do nível crítico de  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Trani et al., 1983).

Korndörfer et al. (1999) avaliaram o desempenho de fosfatos naturais importados como fontes de fósforo para a cultura do milho, em comparação com o ST, num Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Os adubos foram aplicados a lanço e incorporados com uma grade niveladora (leve). Os autores observaram que, no tratamento com ST, ocorreu redução no teor foliar de Zn, de  $22 \text{ mg kg}^{-1}$  (testemunha) para  $13 \text{ mg kg}^{-1}$ , na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os autores inferiram que a diminuição no teor de Zn na folha estaria ligada ao antagonismo existente entre P e Zn, em que a absorção e a translocação do micronutriente na planta são dificultadas pelas elevadas doses de fósforo aplicadas no solo (Olsen, 1972).

Youngdahl et al. (1977) avaliaram a interação fósforo-zinco em meio hidropônico com diferentes níveis de P na presença de zinco, objetivando determinar se o P afetava a distribuição do zinco da raiz para a parte aérea das plantas. As plantas crescidas em concentrações de 8 mM de P tiveram, aproximadamente, três vezes mais  $^{65}\text{Zn}$  nas paredes celulares do que plantas que receberam 2 mM de P, confirmando a hipótese de que o excesso de P aumenta a retenção de Zn nas raízes, diminuindo a sua disponibilidade para a parte aérea.

Outra hipótese que explicaria a redução dos teores de Zn nas folhas é o aumento da exigência fisiológica de Zn pelo milho, devido à maior disponibilidade de P. Nesse sentido, Takkar et al. (1974), em condições de campo, observaram sintomas de deficiência de Zn em plantas de milho, nos tratamentos com alto fornecimento de P e com o aumento das doses de Zn, combinado com as maiores doses de P, houve um aumento significativo na produção de grãos e no teor de Zn foliar ( $22 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Porém, Loneragan & Webb (1993) relatam que o aumento da exigência de Zn em função de altas doses de P tem sido mais observado em condições

controladas (experimentos em vasos), tendo pouca relevância em estudos de campo.

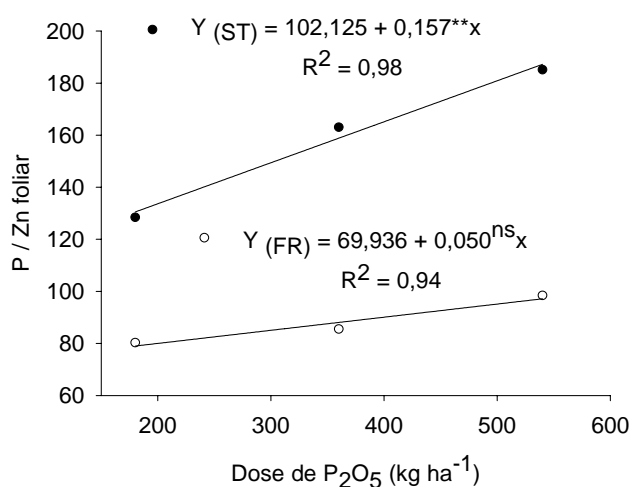
Souza et al. (1998), avaliando os efeitos isolados e combinados da adubação com P e Zn em Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, em condições de campo, observaram que, aplicando até 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura usando ST, não houve influência significativa nos teores de zinco nas folhas do milho quando comparado com a testemunha, sem fósforo (30 mg kg<sup>-1</sup>). Os autores relatam, ainda, uma produção de grãos de até 600 kg ha<sup>-1</sup> utilizando somente o P e com uma concentração inicial de Zn de 0,39 mg kg<sup>-1</sup>.

Coutinho et al. (1991) conduziram um experimento, também em condições de campo, num Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, por dois anos consecutivos, com o objetivo de avaliar a diferentes fontes e doses de fósforo e observaram que o uso de superfosfato triplo, na dose máxima de 200 kg ha<sup>-1</sup>, não proporcionou diminuição significativa no teor de zinco foliar do milho, aplicado a lanço e incorporado superficialmente com grade.

Souza et al. (1985) combinaram doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, usando superfosfato triplo e de Zn, com aplicação de sulfato de zinco, num Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, aplicados no sulco de semeadura e observaram que no tratamento sem P, o teor de Zn nas folhas do milho foi de 55 mg kg<sup>-1</sup>, o qual não diferiu dos tratamentos com a maior dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (200 kg ha<sup>-1</sup>), proporcionando teor médio de 48 mg kg<sup>-1</sup>.

A aplicação de ST no sulco de semeadura proporcionou maior relação P/Zn nas folhas, em relação à aplicação a lanço. No desdobramento de fontes de P, dentro de cada modo de aplicação, observa-se que, independente do modo de aplicação, a relação P/Zn nas folhas foi maior com o uso de ST (Tabela 5). E no estudo das doses de fósforo para cada fonte, a relação P/Zn na folha aumentou significativamente com o aumento das doses de P quando se aplicou o ST. O mesmo não foi observado no caso do FR (Figura 3).

Segundo Sumner & Farina (1986), valores da relação P-Zn nas folhas em torno de 100, para várias culturas, inclusive para o milho, representam uma condição de equilíbrio entre esses nutrientes nas plantas, refletindo em maiores produções.



**FIGURA 3** Relação P/Zn na folha, em função de doses de fósforo, para as fontes ST e FR (safra 2000/01) (\*\*) significativo a 1% e (ns) não significativo.

Para os tratamentos, com a aplicação de ST no sulco de plantio a relação P/Zn atingiu valores acima de 200 (Tabela 5), indicando condições de insuficiência do micronutriente, o que, teoricamente, limitaria o desenvolvimento do milho e a própria absorção de P. Tal efeito, entretanto, não foi observado no presente estudo, pois os teores de P nas folhas nesses tratamentos (Tabela 5) se encontram na faixa de suficiência e não houve diferença no crescimento e na produção do milho (Tabela 4). Além disso, o FR

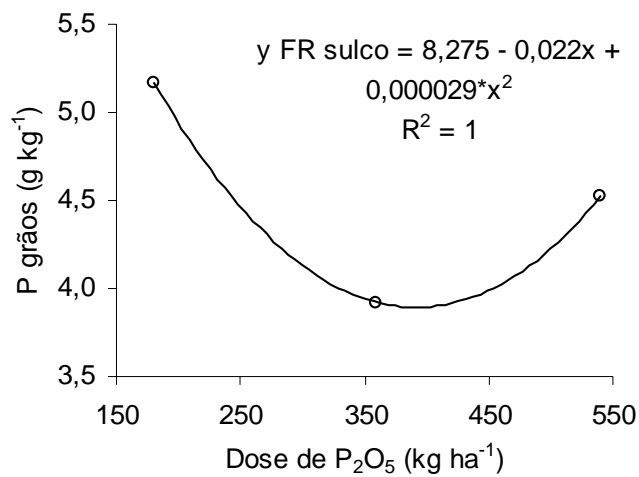
aplicado no sulco apresentou, em média, menor produção de grãos (Tabela 4), embora os teores de P, Zn e P/Zn foliar estivessem dentro dos padrões adequados para a nutrição do milho.

#### **4.1.3 Teores de fósforo, zinco e relação P/Zn nos grãos**

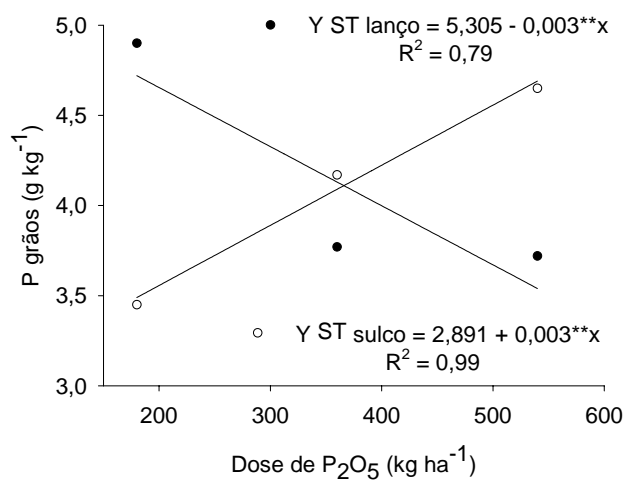
A análise de variância mostrou efeito isolado de fontes para os teores de zinco nos grãos (Tabela 5A). Para os teores de fósforo e relação P/Zn nos grãos (Tabela 5A), houve interação tripla significativa entre os fatores fontes x modos de aplicação x doses de fósforo.

A aplicação de FR, de forma localizada, até a dose 385 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou redução linear nos teores de fósforo nos grãos, atingindo um valor mínimo estimado de 4,0 g kg<sup>-1</sup>. Porém, acima desta dose de fósforo, houve aumento dos teores de fósforo, alcançando, em média, 4,5 g kg<sup>-1</sup> (Figura 4). Por outro lado, na aplicação a lanço, os teores de P nos grãos não diferiram significativamente com o aumento das doses de fósforo (Tabela 6).

Para o ST aplicado no sulco de plantio, os teores de fósforo nos grãos aumentaram linearmente, porém, com a aplicação a lanço, os teores diminuíram, de forma também linear, com o aumento das doses de fósforo (Figura 5).



**FIGURA 4** Teor de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo, para o FR aplicação no sulco (safra 2000/01) (\*\*\*) significativo a 1%.



**FIGURA 5** Teor de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo, para o ST aplicado no sulco e a lanço (safra 2000/01) (\*\*\*) significativo a 1%.

Os teores de fósforo nos grãos apresentam dependência em relação à variação de produtividade, as quais podem implicar em diluição ou concentração (Resende, 2004). Essa dependência parece explicar os teores de P nos grãos para os tratamentos envolvendo o FR no sulco de plantio, pois a produção de grãos tendeu a ser maior com a aplicação de  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 4), refletindo em menor teor de fósforo nos grãos (Figura 4). Porém, para os demais tratamentos, essa relação não foi observada.

Para os tratamentos envolvendo o ST no sulco de plantio, observa-se uma relação direta dos teores de P nos grãos (Figura 5) com os teores de P na folhas (Tabela 5), os quais aumentaram de forma linear com o aumento das doses de fósforo.

Segundo Coelho & Alves (2003), a planta de milho continua absorvendo fósforo do solo até próximo à maturação fisiológica dos grãos. Neste estágio, metade do P dos grãos parece ser proveniente de outras partes da planta, inclusive da palha e pedúnculo da espiga para os grãos em formação. Isso pode explicar a falta de relação clara dos teores de P nos grãos com a produtividade e com os teores de fósforo nas folhas nos tratamentos envolvendo o FR e ST a lanço. A porcentagem do P exportada pelos grãos é da ordem de 80% do total absorvido, indicando que os grãos são o dreno preferencial do nutriente no milho.

Segundo Mengel & Kirkby (1987), para a maioria dos cereais, o teor de P nos grãos está em torno de  $4\text{-}5 \text{ g kg}^{-1}$ . De maneira geral, os teores encontrados para a maioria dos tratamentos neste ensaio (Tabela 6) encontram-se dentro desta faixa. Ainda, Fornasieri Filho (1992) relata que, em plantas de milho com alta produtividade, o teor de P nos grãos foi de  $3,97 \text{ g kg}^{-1}$ .

**TABELA 6** Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn nos grãos de milho em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (Safrá 2000/01).

Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$	Fósforo			Zinco			Relação P/Zn		
	Modo de aplicação			Modo de aplicação			Modo de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
.....Superfosfato Triplo.....									
180	4,9	3,5	4,2	32	36	34	152	98	125
360	3,7	4,2	4,0	26	35	31	145	120	133
540	3,7	4,6	4,2	35	37	36	108	126	117
Média	4,1	4,1	4,1	31	36	34 B	135	115	125
.....Fosfato Reativo de Arad.....									
180	4,2	5,2	4,7	39	38	39	106	137	122
360	3,8	3,9	3,9	38	37	38	98	112	105
540	3,6	4,5	4,0	39	42	41	94	106	100
Média	3,9	4,5	4,2	39	39	39 A	99	118	109
Testemunha	3,9 ns			43 *			92 *		

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* e ns = média do tratamento-testemunha difere e não difere, respectivamente, em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

É importante ressaltar que os baixos teores de zinco nas folhas (Tabela 5), nos tratamentos envolvendo o ST no sulco de semeadura, não comprometeram a redistribuição do P das folhas para os grãos e nem a produção de grãos (Tabela 4), sugerindo, portanto, que a interação P-Zn não afetou a utilização desses nutrientes pela planta.

Os teores de zinco nos grãos foram, em média, menores com a aplicação de ST em relação ao FR (Tabela 6). Neste caso, a maior produtividade média obtida com o ST (Tabela 4) pode ter ocasionado diluição do zinco nos grãos, visto que a adubação com o micronutriente não variou com os tratamentos.

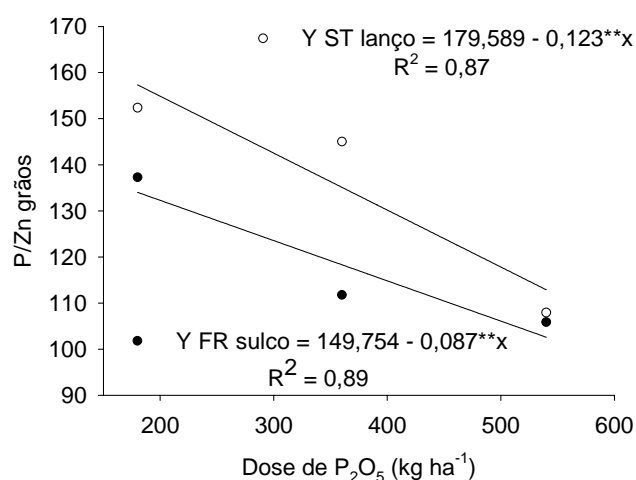
Segundo Fornasieri Filho (1992), os teores adequados para o Zn nos grãos são em torno de  $28 \text{ mg kg}^{-1}$ , valor abaixo dos observados neste estudo (Tabela 6). Portanto, tudo indica que o zinco foi redistribuído de outras partes da planta para os grãos com relativa facilidade. Ao que parece, a folha, no florescimento (primeira folha oposta e abaixo da espiga), não foi adequada para a avaliação do estado nutricional de Zn na planta, principalmente nos tratamentos com ST no sulco, os quais não apresentaram queda de produtividade de matéria seca e de grãos (Tabela 4).

Oliveira (2000) alerta para o fato de que alguns trabalhos sugerem que o fósforo interfere na utilização do zinco pela planta, mas não se conhecem ainda mecanismos metabólicos ou funcionais para a explicação do efeito. Biddulph (1953) apresentou evidência da precipitação do zinco pelo fósforo em nervuras e em tecidos condutores, mas, baseado na solubilidade do  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , o autor descarta essa hipótese.

Considerando que as diferenças em produtividade de grãos podem refletir em concentração e diluição dos nutrientes e que tanto o P quanto o Zn podem ser redistribuídos de diferentes partes da planta para os grãos, esses fatores podem causar variações nas concentrações de P e Zn nos grãos, tornando

essas variáveis pouco efetivas em indicar o estado nutricional desses nutrientes nas plantas.

A relação P/Zn nos grãos reduziu linearmente nos tratamentos com aplicação de FR no sulco e ST a lanço com o aumento da doses de fósforo (Figura 6). Já para os tratamentos relacionados com aplicação de FR a lanço e ST no sulco, não houve diferença estatística (Tabela 6).



**FIGURA 6** Relação P/Zn nos grãos, sem função de doses de fósforo para ST a lanço e FR no sulco (Safrá 2000/01) (\*\*\*) significativo a 1%.

Takkar et al. (1976), com o objetivo de avaliar as respostas em produção e valores críticos da relação P/Zn nos grãos de milho em condições de campo, observaram que, para valores acima de 245, o excesso de P induziu deficiência de zinco ou houve resposta em produção à aplicação de zinco. Os valores da relação P/Zn nos grãos encontrados no presente experimento estão abaixo de 245, indicando um relativo equilíbrio do P e Zn entre tratamentos (Tabela 6).

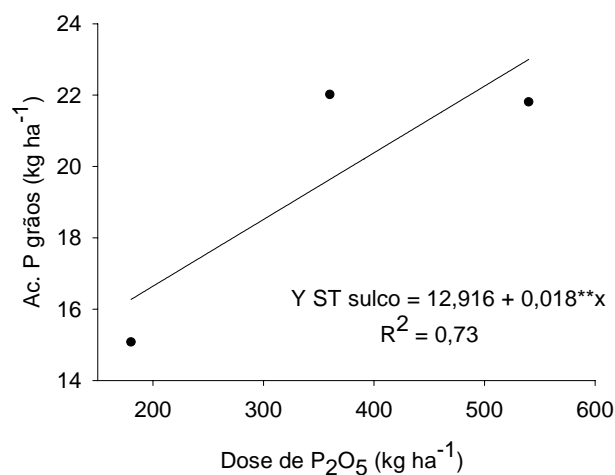
Portanto, pode-se pressupor que, de alguma forma, o eventual desequilíbrio nutricional observado na folha usada para o diagnóstico à época do florescimento foi minimizado pelas plantas de milho, não sendo evidenciado nos grãos, o que è, coerente com a variação relativamente pequena nas produtividades obtidas.

#### **4.1.4 Acúmulo de fósforo e zinco nos grãos**

A análise de variância mostrou interação tripla significativa entre os fatores fontes x modos de aplicação x doses de fósforo para o acúmulo de fósforo nos grãos, enquanto que o acúmulo de zinco foi influenciado apenas pela interação fontes x modos de aplicação (Tabela 6 A).

Somente o ST, quando aplicado de forma localizada, proporcionou aumento linear no acúmulo de P (Figura 7) com o aumento das doses do nutriente. Com a aplicação de FR, tanto no sulco quanto a lanço, o conteúdo de fósforo nos grãos não diferiu (Tabela 7).

Os tratamentos envolvendo o ST no sulco de plantio tenderam a apresentar maior peso de grãos (Tabela 4) e os teores de fósforo nos grãos aumentaram de forma significativa e linear (Figura 4) e, conseqüentemente, o acúmulo de P nos grãos foi maior com o aumento das doses de P (Figura 7).



**FIGURA 7** Acúmulo de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo para o ST aplicado no sulco (safra 2000/01) (\*\*) significativo a 1%.

**TABELA 7** Acúmulo de fósforo (kg ha<sup>-1</sup>) e zinco (g ha<sup>-1</sup>) nos grãos de milho em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2000/01).

Doses de P	Acúmulo de fósforo			Acúmulo de zinco		
	Modos de aplicação			Modos de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
.....Superfosfato triplo.....						
180	21	15	18	139	155	147
360	15	22	19	109	183	146
540	15	22	19	144	174	159
Média	17	20	18	131 b A	170 a A	151
.....Fosfato reativo de Arad.....						
180	16	17	16	150	122	136
360	15	14	15	153	132	142
540	15	14	15	167	132	150
Média	15	15	15	157 a A	129 a B	143
Testemunha	13 ns			172 ns		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas ou maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns = média do tratamento-testemunha não difere em relação à média do fatorial (Teste F, p<0,05).

O acúmulo de zinco nos grãos com a aplicação de ST foi maior quando este foi aplicado no sulco de plantio; já para o FR, não houve diferença em relação aos modos de aplicação. Quando se comparam as fontes de fósforo, para cada modo de aplicação, constata-se que o uso de ST no sulco de plantio proporcionou maior acúmulo de Zn em relação ao FR e, na aplicação a lanço, não houve diferença entre as fontes de fósforo (Tabela 7).

A extração de zinco variou de 109 a 183 g ha<sup>-1</sup> (Tabela 7). Segundo Fornasieri Filho, 1992), a extração de zinco para o milho está em torno de 28,77 g t<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> de zinco. Considerando esse valor, para o tratamento com maior produção de grãos (ST, na dose 360 kg ha<sup>-1</sup> aplicado no sulco de semeadura), a extração deveria ser de 149,5 g ha<sup>-1</sup> Zn. Portanto, pela análise da Tabela 7, verifica-se que não houve maior interferência dos tratamentos na utilização e no acúmulo de Zn nos grãos.

Um princípio bem conhecido, no caso do Zn, é que as exigências das raízes são atendidas primeiro e depois ocorre um significativo transporte para a parte aérea (Olsen, 1972). Essa hipótese poderia explicar os baixos teores de Zn nas folhas para os tratamentos envolvendo o ST no sulco, nos quais haveria deficiência temporária de Zn, que seria eliminada pela própria planta no decorrer do ciclo do milho, atendendo à demanda para crescimento e produção de grãos normais.

## **4.2 Segundo cultivo**

### **4.2.1 Matéria seca de plantas e peso de grãos**

A análise de variância não apontou diferença entre os tratamentos, tanto para o peso de plantas quanto para o peso de grãos, porém, detectou diferença entre a média do tratamento testemunha com a média do fatorial (Tabela 7A).

De maneira geral, o peso de grãos tendeu a ser maior com o uso de ST aplicado no sulco de plantio. No caso do FR, ocorreu o inverso, obtendo-se maior produção quando o fosfato foi aplicado a lanço (Tabela 8). Observa-se a mesma tendência no primeiro cultivo (Tabela 4).

**TABELA 8** Matéria seca da parte aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e peso de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do milho em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2001/02).

Doses de P	Matéria seca			Peso de grãos		
	Modos de aplicação			Modos de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
	.....Superfosfato triplo.....					
180	8.395	7.901	8.148	7.883	8.059	7.971
360	7.176	9.560	8.368	7.463	9.185	8.324
540	7.731	7.940	7.836	7.759	8.431	8.095
Média	7.767	8.467	8.117	7.702	8.558	8.130
	.....Fosfato reativo de Arad.....					
180	6.204	7.176	6.690	7.444	7.574	7.509
360	9.884	7.755	8.819	9.613	7.535	8.574
540	7.685	8.333	8.009	8.264	8.049	8.156
Média	7.924	7.755	7.840	8.441	7.719	8.080
Testemunha		4.290 *			5.268 *	

\* = média do tratamento-testemunha difere em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

Em termos de valores absolutos, as médias, tanto de peso de plantas como de grãos, foram maiores no segundo ano de cultivo. Portanto, o efeito residual da adubação fosfatada, mesmo na menor dose de P, parece ter sido suficiente para atender às necessidades nutricionais do milho no segundo cultivo, favorecido pela melhor oferta e regularidade de chuvas (Figura 1). Entretanto, houve limitação mais acentuada da disponibilidade do nutriente no tratamento testemunha, restringindo o crescimento e a produção de grãos (Tabela 8).

#### **4.2.2 Teores foliares de fósforo, zinco e relação P/Zn na folha**

A análise de variância evidenciou interação significativa dos fatores fontes x modos de aplicação de fósforo e efeito isolado para doses de fósforo, para os teores de P e relação P/Zn nas folhas. Já para os teores de zinco, houve apenas efeito de modos de aplicação (Tabela 7A).

Os teores de fósforo nas folhas do milho se encontram, de maneira geral, dentro da faixa de referência, de 2,5–3,5 g kg<sup>-1</sup>, segundo Martinez (1999), exceto para os tratamentos envolvendo a aplicação de FR no sulco de plantio (Tabela 9). Em princípio, esses resultados podem ser explicados pela própria dinâmica de solubilização do FR, a qual, segundo Novais & Smith (1999), é favorecida pela remoção de Ca e P. Neste caso, a aplicação a lanço favorece o dreno de Ca e P, pois proporciona maior contato das partículas do fertilizante com o solo e esse efeito tende a ser maior em solos argilosos.

Santos (2000), em um experimento de campo num Podzólico Vermelho-Amarelo, combinando doses de P e Zn, observou relação linear e altamente significativa da produção relativa de grãos com os teores de fósforo nas folhas. Os níveis críticos de P e Zn nas folhas foram de 2,9 g kg<sup>-1</sup> e 22 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente e a dose de 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn proporcionou rendimentos máximos de grãos durante três anos de cultivo.

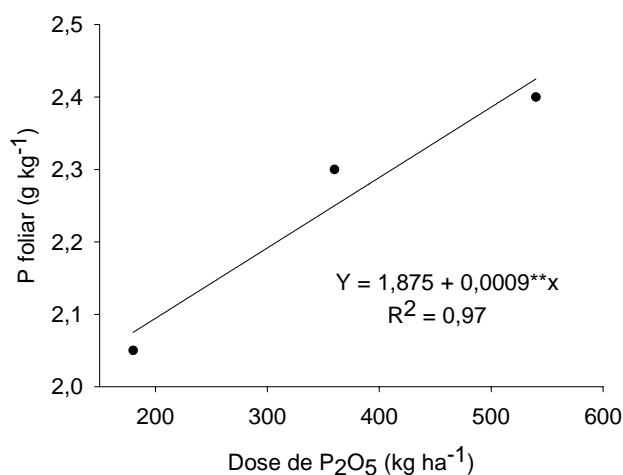
É importante ressaltar a eficiência genotípica do milho, fruto de programas de melhoramento, que permite obter bom potencial de produção em solos com disponibilidade variável de fósforo e, conseqüentemente, diferentes híbridos podem apresentar faixas de referência variadas para a avaliação do estado nutricional das plantas (Coelho & Alves, 2003).

**TABELA 9** Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn nas folhas de milho em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (Safrá 2001/02).

Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$	Fósforo			Zinco			Relação P/Zn		
	Modo de aplicação			Modo de aplicação			Modo de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
	.....Superfosfato Triplo.....								
180	2,0	2,4	2,2	22	24	23	89	100	94
360	2,4	2,5	2,5	25	19	22	101	129	115
540	2,4	2,8	2,6	24	21	22	103	134	119
Média	2,3 b A	2,6 a A	2,4	24	22	23	97 b A	121 a A	109
	.....Fosfato Reativo de Arad.....								
180	2,2	1,5	1,9	22	20	21	98	78	88
360	2,4	1,7	2,1	26	19	23	95	91	93
540	2,5	1,9	2,2	22	19	21	110	104	107
Média	2,4 a A	1,7 b B	2,1	24	19	21	101 a A	91 a B	96
Testemunha		1,6 *			25 ns			65 *	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* e ns = média do tratamento-testemunha difere e não difere, respectivamente, em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

De maneira geral, independente do modo de aplicação e das fontes de fósforo, o teor de P nas folhas aumentou de forma linear com o aumento das doses (Figura 8), sem, contudo ultrapassar os valores da faixa de referência para a cultura do milho (Martinez et al., 1999).



**FIGURA 8** Teor de fósforo nas folhas de milho em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (Safrá 2001/02). (\*\*) significativo a 1%.

Com a aplicação das fontes de fósforo, independente das doses utilizadas, os teores de zinco na folha foram, em média, menores com a aplicação no sulco de plantio (20,0 mg kg<sup>-1</sup>) em relação à aplicação a lanço (23,6 mg kg<sup>-1</sup>). Assim sendo, não foi encontrada a mesma tendência observada no primeiro cultivo. De maneira geral, os teores foliares de zinco se encontraram na faixa adequada para o milho (Martinez, 1999), diferentemente do primeiro ano.

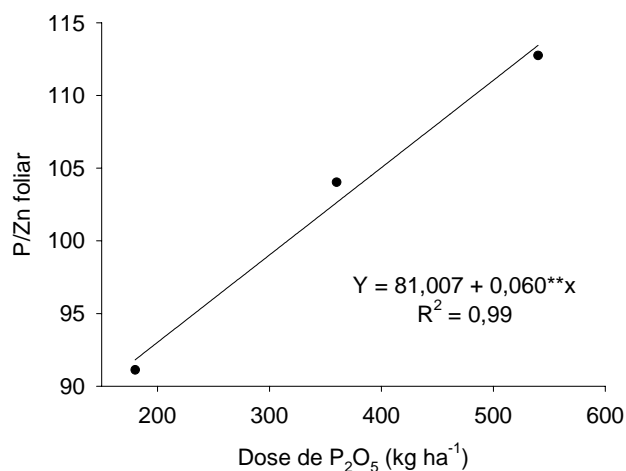
Alguns fatores devem ter contribuído, de forma conjunta, para minimizar a redução no teor foliar de Zn no segundo cultivo. A extração de P no

primeiro cultivo e o tempo de contato dos fosfatos com o solo, provavelmente, levaram à redução nas concentrações do nutriente na região de absorção radicular do milho no segundo ano. Além disso, a aplicação de mais 2 kg ha<sup>-1</sup> de zinco no plantio da segunda safra aumentou a disponibilidade do micronutriente. Finalmente, é importante ressaltar que o principal mecanismo de transporte do zinco no solo é a difusão (Mengel & Kirkby, 1987), processo que depende muito da umidade do solo, a qual foi mais favorável no segundo cultivo.

Esses fatores devem ter sido preponderantes também ao melhor equilíbrio da relação P/Zn nas folhas do milho no segundo cultivo, a qual apresentou valores mais estáveis entre tratamentos que receberam P, em torno de 100 (Tabela 9). Esse valor, segundo Sumner & Farina (1986), retrata condições nutricionais P-Zn mais equilibradas e proporciona maiores produções para diferentes culturas.

Ainda assim, observa-se que a relação P/Zn na folha tendeu a ser maior com o uso de ST aplicado no sulco de plantio (Tabela 9).

Na média das fontes e modos de aplicação, a relação P/Zn nas folhas do milho aumentou de forma linear com o incremento das doses de fósforo no solo (Figura 9), comportamento análogo ao observado para os teores de P nas folhas (Figura 8).

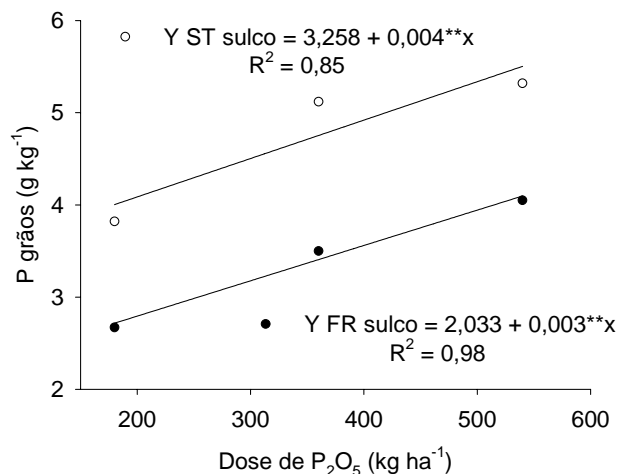


**FIGURA 9** Relação P/Zn na folha do milho, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2001/02) (\*\*) significativo a 1%.

#### 4.2.3 Teores de fósforo, zinco e relação P/Zn nos grãos

A análise de variância evidenciou interação tripla entre os fatores fontes x modos de aplicação x doses de fósforo para os teores de fósforo e de zinco nos grãos do milho (Tabela 7A). Já para a relação P/Zn nos grãos, houve interação significativa para os fatores fontes x modos de aplicação de fósforo e efeito isolado para doses de fósforo (Tabela 7A).

Os teores de fósforo nos grãos de milho aumentaram linearmente com o aumento das doses de fósforo no solo, quando este foi aplicado utilizando FR no sulco de plantio e ST a lanço (Figura 10). Porém para os tratamentos envolvendo a aplicação de FR a lanço e ST no sulco de semeadura, não houve diferença significativa para os teores de fósforo nos grãos com o aumento das dose de P (Tabela 10).



**FIGURA 10** Teor de fósforo nos grãos, em função de doses de fósforo para o ST no sulco e FR a lança (safra 2001/02) (\*\*) significativo a 1%.

Apesar das melhores condições climáticas no segundo ano, no período de enchimento de grãos (Figura 1), os teores de fósforo nas folhas (Tabela 9) e, principalmente nos grãos (Tabela 10), em geral, tenderam a ficar abaixo do ideal (2,6 g kg<sup>-1</sup>) e (5,6 g kg<sup>-1</sup>), segundo Martinez (1999) e Raij (1991), respectivamente.

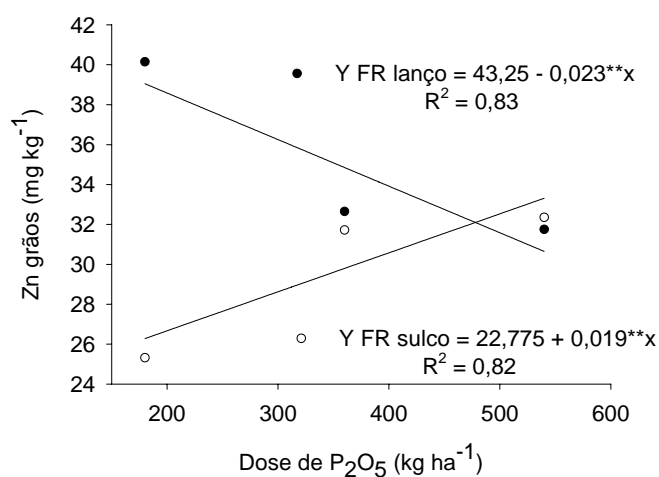
Essas observações indicam que, em parte, as diferenças de produtividade que seriam esperadas entre os tratamentos foram niveladas pela capacidade dos genótipos de milho otimizarem a produção de grãos, mesmo variando os teores de fósforo em seus tecidos, ou seja, parece que o híbrido de milho HT 7105-3 apresenta uma alta taxa de conversão do fósforo absorvido em grãos.

**TABELA 10** Teores de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e relação P/Zn nos grãos de milho em função de fontes, doses e modo de aplicação de fósforo (Safrá 2001/02).

Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$	Fósforo			Zinco			Relação P/Zn		
	Modo de aplicação			Modo de aplicação			Modo de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
.....Superfosfato Triplo.....									
180	3,8	4,1	4,0	35	32	33	108	130	119
360	5,1	4,2	4,7	40	30	35	130	140	135
540	5,3	4,6	5,0	41	29	35	130	161	145
Média	4,7	4,3	4,5	39	30	34	122 b A	143 a A	133
.....Fosfato Reativo de Arad.....									
180	4,5	2,7	3,6	40	25	33	114	106	110
360	3,9	3,5	3,7	33	32	33	120	109	115
540	4,3	4,1	4,2	32	32	32	135	125	130
Média	4,2	3,4	3,8	35	30	32	123 a A	113 a B	118
Testemunha	3,4 *			39 *			85 *		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* = média do tratamento-testemunha difere em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

A aplicação de FR no sulco de plantio proporcionou um aumento linear no teor de zinco nos grãos, Por outro lado, quando se aplicou o adubo a lanço, ocorreu uma redução, também linear e significativa (Figura 11). Já o uso de ST, aplicado no sulco ou a lanço, não alterou o teor de zinco nos grãos com o aumento das doses de fósforo (Tabela 10).



**FIGURA 11** Teor de zinco nos grãos em função de doses de fósforo para o FR aplicado a lanço e no sulco (Safrá 2001/02). (\*\*) significativo a 1%.

Um dos fatores que afetam a translocação do zinco na planta é o estado nutricional em relação ao próprio micronutriente (Rodrigues, 1977). Observa-se, de maneira geral, que os teores foliares de zinco (Tabela 9) estão dentro da faixa de suficiência, segundo Martinez (1999). Isso pode ter contribuído para os teores um pouco acima de 28 mg kg<sup>-1</sup> nos grãos (Fornasieri Filho, 1992).

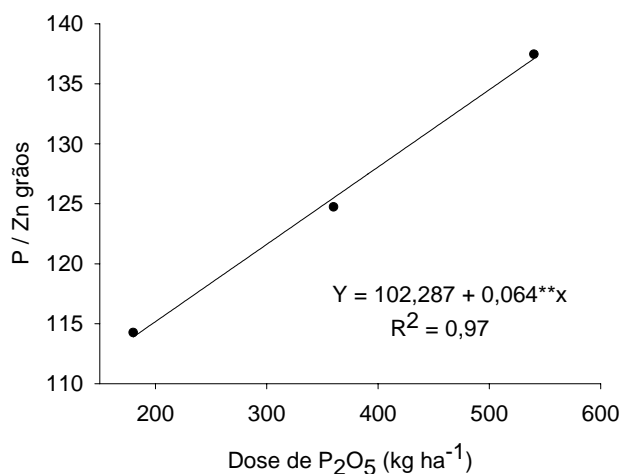
De qualquer modo, não se verifica uma redução nos teores de zinco nos grãos suficiente para retratar o efeito da adubação fosfatada na translocação deste nutriente para os grãos. Boawn & Legget (1964) relatam que, entre o P e o Zn, parece existir um antagonismo mútuo toda vez que ambos os nutrientes excedem seus valores ideais. Mas, em todos os casos, o efeito da aplicação de P na deficiência do zinco tem sido aliviada pela adição de uma pequena quantidade de zinco com o fertilizante, tal como realizado no plantio da segunda safra.

A relação P/Zn nos grãos, com o uso de ST, foi maior quando se aplicou o fertilizante de forma localizada, já para o FR, não houve diferença entre os modos de aplicação. No desdobramento de fontes dentro de cada modo de aplicação, observa-se que, na aplicação localizada, o ST proporcionou, em média, maior valor, porém, com a aplicação das fontes a lanço, não houve diferença entre elas (Tabela 10).

Observa-se, com o aumento nas doses de ST aplicado no sulco de plantio, uma tendência de aumento nos teores de fósforo nos grãos e diminuição dos teores de zinco, o que contribuiu para o maior valor da relação entre os dois nutrientes (Tabela 10). Ao que parece, a translocação do P e Zn da folha para os grãos não foi afetada.

Observa-se, ainda, que a relação P/Zn nos grãos do milho aumentou de forma linear com o incremento das doses de fósforo no solo (Figura 12), comportamento análogo ao observado para a relação P/Zn nas folhas (Figura 8).

De maneira geral, a relação P/Zn nos grãos, nos diversos tratamentos, apresentou valores abaixo de 245, valor pelo qual, segundo Takkar et al. (1976), o excesso de P induziria deficiência de zinco ou haveria resposta em produção à aplicação de zinco. Valores semelhantes da relação P-Zn nos grãos foram observados no primeiro cultivo.



**FIGURA 12** Relação P/Zn nos grãos do milho, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco safra 2001/02) (\*\*) significativo a 1%.

#### 4.2.4 Acúmulo de fósforo e zinco nos grãos

A análise de variância evidenciou interação significativa entre os fatores fontes x modos de aplicação e efeito isolado de doses de fósforo para o acúmulo de fósforo nos grãos. Já para o acúmulo de zinco nos grãos, houve interação tripla entre fontes x modos de aplicação x doses de fósforo (Tabela 8A).

O acúmulo de fósforo nos grãos não diferiu entre os modos de aplicação com o uso de ST, porém, quando se aplicou o FR no sulco de plantio, este proporcionou menor valor médio em relação à aplicação a lanço. No desdobramento de fontes dentro de cada modo de aplicação, observa-se que, no sulco de plantio, o FR apresentou menor conteúdo de fósforo em relação ao ST. Já para a aplicação a lanço, não houve diferença entre as fontes (Tabela 11).

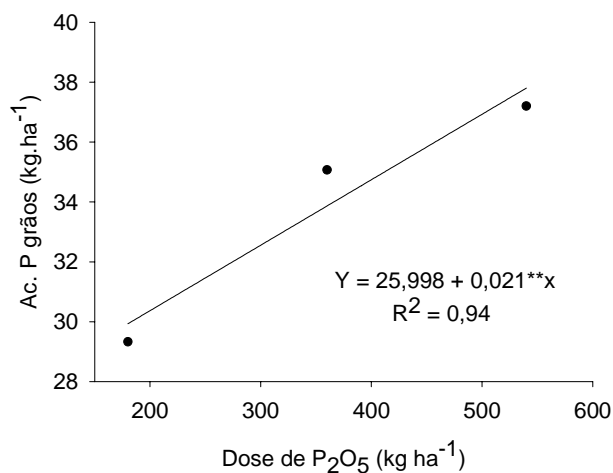
**TABELA 11** Acúmulo de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e zinco ( $\text{g ha}^{-1}$ ) nos grãos de milho em função de fontes, doses e modos de aplicação de fósforo.

Doses de P	Acúmulo de fósforo			Acúmulo de zinco		
	Modos de aplicação			Modos de aplicação		
	Lanço	Sulco	Média	Lanço	Sulco	Média
.....Superfosfato triplo.....						
180	30,1	33,1	31,6	276	254	265
360	38,3	38,3	38,3	295	275	285
540	42,2	38,5	40,3	322	239	281
Média	36,9 a A	36,7 a A	36,8	298	256	277
.....Fosfato reativo de Arad.....						
180	33,9	20,2	27,0	299	192	246
360	37,8	25,8	31,8	315	237	276
540	35,3	32,9	34,1	262	263	263
Média	35,7 a A	26,3 b B	31,0	292	231	261
Testemunha	17,6 *			208 *		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas ou maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* = média do tratamento-testemunha difere em relação à média do fatorial (Teste F,  $p < 0,05$ ).

A resposta do milho em acúmulo de fósforo nos grãos com o aumento das doses do nutriente seguiu um comportamento crescente e linear (Figura 13).

No desdobramento de doses para cada fonte e modo de aplicação de P, para o acúmulo de zinco nos grãos, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 11). Os valores do acúmulo de zinco nos grãos variaram de 239 a 322  $\text{g ha}^{-1}$  entre os tratamentos e foram maiores, quando comparados com o primeiro ano, em função, principalmente, da maior magnitude de produção de grãos no segundo cultivo.



**FIGURA 13** Acúmulo de fósforo nos grãos, em função de doses P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dados médios das fontes ST e FR e dos modos de aplicação a lanço e no sulco (safra 2001/02) (\*\*) significativo a 1%.

#### 4.3 Considerações finais

Resultados peculiares em relação aos teores de Zn e relação P/Zn nas folhas foram observados no primeiro cultivo, os quais apresentaram-se fora dos padrões adequados para a cultura do milho para alguns tratamentos, sem, contudo, afetar a produção de grãos.

No segundo cultivo, embora tenha se mantido certa tendência do ano anterior nos tratamentos envolvendo o ST no sulco de semeadura, os efeitos sobre o Zn foram menos intensos, provavelmente, em função da extração de P no primeiro ano, do tempo de contato do P com o solo (favorecendo a fixação do nutriente), da aplicação de Zn na adubação de plantio e de melhores condições climáticas.

Nos dois cultivos, os teores de P e Zn e a relação P/Zn nos grãos mostraram, de maneira geral, estar dentro dos padrões adequados para o milho,

indicando que os tratamentos não afetaram a utilização do Zn e a redistribuição de P e Zn nas plantas.

O fato de os menores teores de Zn e maiores valores da relação P/Zn nas folhas não terem refletido em queda de produtividade, nos tratamentos com ST aplicados no sulco, poderia estar relacionado com uma deficiência temporária de Zn na parte aérea, pois, no caso desse micronutriente, as exigências das raízes são atendidas primeiro e, posteriormente, ocorre um significativo transporte para a parte aérea (Olsen, 1972). Essa hipótese é reforçada com as análises dos teores e conteúdos de Zn nos grãos, os quais não foram afetados pela adubação fosfatada.

Trabalhos conduzidos a campo mostraram que a aplicação de ST, na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, aplicado no sulco ou a lanço, em solos de textura média, não proporcionou redução significativa dos teores de Zn nas folhas do milho (Souza et al., 1985; Coutinho et al., 1991; Souza et al., 1998).

Korndörfer et al. (1999), aplicando 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o milho, na forma de ST, observaram redução nos teores de Zn nas folhas (13 mg kg<sup>-1</sup>), associando o fato a uma possível queda de produtividade. Coutinho et al. (1987), em experimento de campo, observaram que a aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> usando o ST no sulco promoveu redução significativa nos teores de Zn nas folhas de sorgo, a qual, entretanto, foi relacionada ao efeito de diluição decorrente do maior crescimento das plantas bem supridas de P.

No caso dos genótipos de milho utilizados no presente estudo, parece haver realmente alguma interferência do excesso de P, que reduz a concentração de Zn e altera também a relação P/Zn na folha diagnóstica usada na avaliação do estado nutricional. Porém, esse aparente desbalanço não tem maiores implicações sobre o crescimento e produção de grãos. Portanto, o diagnóstico nutricional de Zn baseado na análise foliar não foi indicador confiável da

necessidade de aplicação do micronutriente ou do potencial de limitação da produção da cultura.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais deste estudo, conclui-se que:

- a interação fósforo-zinco foi mais evidente nos tratamentos envolvendo a fonte solúvel (ST), em aplicação localizada (sulco de semeadura) e com o aumento das doses de fósforo, principalmente no primeiro ano de cultivo, sem, contudo, afetar a produção de matéria seca e de grãos do milho;
- os teores foliares de Zn foram reduzidos, enquanto os teores de P e a relação P/Zn aumentaram à medida que aumentou-se a disponibilidade potencial de P nos diferentes tipos de manejo da adubação fosfatada;
- os teores de P, Zn e relação P/Zn nos grãos não seguiram os padrões observados nas folhas;
- o diagnóstico baseado na análise foliar foi pouco efetivo em indicar o estado nutricional do milho em relação ao Zn.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- ALVES, V.M.C. et al. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.314-316.
- ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.349-353, 1992.
- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. CD-ROM.
- BAHIA, F.G.F.T.C.; BRAGA, J.M. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção do zinco, em dois solos de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.21, n.115, p.167-192, 1974.
- BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.151-156, 2002.
- BIDDULPH, O. Translocation of radioactive mineral nutrients in plants. **Kan. Agr. Exp. Sta. Rep.**, v.4, p.48-58, 1953.
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acids. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.29, n.1, p.71-72, Jan./Feb. 1965.
- BOAWN, L.C.; LEGGET, G.E. Phosphorus and zinc concentrations in Russet Burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.28, p.229-232, 1964.

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. 2.ed. New York: J. Wiley, 1985. 341p.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.113, p.73-85, jan./fev. 1974.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In PAGE, A.L. (Ed). **Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: ASA/SSSA, 1982. c.31, p.595-624.

BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.63-145.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. **Physiol. Plant**, Copenhagen, v.70, p.13-20, 1987.

CARROL, M.D.; LONERAGAN, J.F. The relevance of solution culture studies to the absorption of zinc from soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, 2., 1968, Bucharest, România. **Proceedings...** Bucharest, România: 1968. p.191-202.

COELHO, A.M.; ALVES, V.M.C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. CD-ROM.

COUTINHO, E.L.M. et al. Diagnose da nutrição fosfatada na cultura do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.5, p.451-457, maio 1987.

COUTINHO, E.L.M. et al. Avaliação da eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, São Paulo, v.19, n.2, p.93-104, 1991.

COUTO, C. et al. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.79-87, 1992.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P. & CARMELL, Q.A.C. Avaliação do estado nutricional da planta e disponibilidade no solo. Diagnóstico visual. In: FERREIRA E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura: Simpósio sobre micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fósforo, 1991. p. 273-288.

DWIVEDI, R.S.; RANDHAWA, N.S.; BAUSAL R.L. Phosphorus-Zinc interaction. 1. sites of immobilization of zinc in maize at a high level of phosphorus. **Plant and Soil**, v.43, n.3, p.639-648, 1975.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J.G.; MELO, P.C. Efeito do fósforo e do zinco sobre o crescimento de mudas do cupuazeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.). **Cerne**, Lavras, v.9, n. 2, p. 221-230, jul./dez. 2003.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

FERRADON, M.; CHAMEL, R. Cuticular retention foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, n.3, p.247-263, 1988.

FERREIRA, A.C.B. et al. Características agrônomicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.131-138, jan./mar. 2001.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e Resumos...** São Carlos: UFScar, 2000. p.255-258.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.55, n.2, p.365-369, 1996.

GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.19, p.255-260, 1995.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.665-687.

HUANG, C. et al. Zinc deficiency up-regulates expression of high-affinity phosphate transporter genes in both phosphate-sufficient and-deficient barley roots. **Plant Physiology**, v.124, p.415-422, Sept. 2000.

JAREEL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advance in Agronomy**, New York, v.34, p.197-224, 1981.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3).

KORNDÖRFER, G.H. et al. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, p.1-9, 1999.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science of America, 1972. p.41-47.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: J. Wiley, 1979. 449p.

LONERAGAN, J.F.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). **Zinc in soil and plants**. Madison: Kluwer Academic, 1993. p.119-134.

LONERAGAN, J.F. et al. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.43, p.966-972, 1979.

LONERAGAN, J.F. et al. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.46, p.345-352, 1982.

LONGNECKER, N.E.; ROBSON, A.D. Distribution and transport of zinc in plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). **Zinc in soil and plants**. Kluwer Academic, 1993. p.79-91.

LOPES, A.S. Fosfatos naturais. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.65-66.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MANARIN, S.A. **Combinações de doses de fósforo e de zinco em solução nutritiva para o capim – Tanzânia** (*Panicum maximum*). 2005. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura de Luis de Queiroz, Piracicaba, SP.

MARQUES, R. **Efeito do fósforo e do zinco na nutrição e crescimento de porta-enxertos de seringueira** (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). 1990.110p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2.ed. New York: Academic, 1995. 889p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p.143-168.

MENGEL, K.; KIRKBY, A. **Principles of plant nutrition**. Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687p.

NOVAIS, R.F. Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.62-64.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, M.F.G. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.609-615, 1999.

OLIVEIRA, P.R.A. **Efeito do fósforo e zinco na nutrição e crescimento de mudas de mamoeiro e mangabeira**. 2000. 184p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p.245-256.

OLSEN, S.R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.

PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, London, v.46, n.288, p.1829-1835, July 1994.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.106-114.

RAIJ, B. van et al. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. Van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p.8-13.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, v.57, p.77-159, 1996.

RESENDE, A.V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado**. 2004. 169p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RESENDE, A.V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.3, p.453-466, 2006.

RODRIGUES, L.A. et al. Absorção e translocação de zinco em feijoeiro aplicado via foliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v 9., n2., p.111-115, ago. 1997.

ROSOLEM, C.A.; FRANCO, G.R. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.807-814, 2000.

SAEED, M.; FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.683-686, 1979.

SANTOS, P.R.R.S. **Efeitos de doses de fósforo e de zinco na produção de grãos de milho e nos teores desses nutrientes no solo e na planta**. 2000. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Estadual de São Paulo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

SHUMAN, L.M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, v.39, p.454-458, 1975.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.157-200.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. p.147-168.

SOUZA, E.C.A.; FERREIRA, M.E. Micronutrientes na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. 734p.

SOUZA, E.C.A. et al. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação com fósforo e zinco. **Científica**, São Paulo, v.13, n.1/2, p.39-49, 1985.

SOUZA, E.C.A. et al. Resposta do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.7, p.1031-1036, 1998.

SUMNER, M.E.; FARINA, M.P.W. Phosphorus interaction with other nutrients and lime in field cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v.5, p.201-236, 1986.

STEVENSON, F.J.; ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of América, 1972. p.79-114.

TAKKAR, P.N. et al. Yield and uptake response of corn to zinc, as influenced by phosphorus fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, n.6, p.942-946, Nov./Dec. 1976.

TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. **Análise foliar**: amostragem e interpretação. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 18p.

YOUNGDAHL, L.J. et al. Changes in the Zinc-65 Distribution in Corn Root Tissue With a Phosphorus Variable. **Crop Science**, v.17, p.66-69, 1977.

**Página**

## ANEXOS

TABELA 1A	Principais atributos químicos do solo aos 25 dias após a semeadura do milho (Safrá 2000/01).....	68
TABELA 2A	Principais atributos químicos do solo aos 25 dias após a semeadura do milho (Safrá 2001/02).....	69
TABELA 3A	Teores foliares de macro e micronutrientes no florescimento do milho, sob diferentes fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (Safrá 2000/01).....	70
TABELA 4A	Teores foliares de macro e micronutrientes no florescimento do milho, sob diferentes fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (Safrá 2001/02).....	71
TABELA 5A	Resumo da análise de variância para peso de plantas (PPL), peso de grãos (PGR), teor foliar de P (P F), teor foliar de zinco (Zn F), relação fósforo/zinco na folha (P/Zn F), teor de fósforo nos grãos (P Gr), teor de zinco nos grãos (Zn Gr) e relação fósforo/zinco nos grãos (P/Zn GR) (Safrá 2000/01).....	72
TABELA 6A	Resumo da análise de variância para acúmulo de fósforo nos grãos (A P Gr) e acúmulo de zinco nos grãos (A Zn Gr) (Safrá 2000/01).....	73
TABELA 7A	Resumo da análise de variância para peso de plantas (P.PL), peso de grãos (P. GR), teor foliar de P (P. F), relação fósforo/zinco na folha (P/Zn F), teor de fósforo nos grãos (P Gr), teor de zinco nos grãos (Zn Gr) e relação fósforo/zinco nos grãos (P/Zn Gr) (Safrá 2001/02).....	74
TABELA 8A	Resumo da análise de variância para acúmulo de fósforo nos grãos (A P Gr) e acúmulo de zinco nos grãos (A Zn Gr) (Safrá 2001/02).....	75

TABELA 1A Principais atributos químicos do solo aos 25 dias após a semeadura do milho (safra 2000/01).

Tratamentos	pH água (1:2,5)	P Mehlich	P Resina	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Zn	Fe	Mn	Cu
		.....mg dm <sup>-3</sup> .....			.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....				.....mg dm <sup>-3</sup> .....			
Testemunha	4,8	3	8	196	1,3	0,6	0,6	6,3	2,2	59,5	71,7	6,7
ST 180 lanço	5,0	4	10	206	1,6	0,5	0,5	6,5	1,9	65,1	44,2	6,0
ST 360 lanço	4,8	3	15	170	0,9	0,4	0,8	6,6	1,9	73,6	28,7	5,5
ST 540 lanço	5,0	7	18	220	1,4	0,6	0,6	6,3	4,1	47,1	49,0	4,7
ST 180 sulco	5,0	5	10	224	1,2	0,4	0,6	6,2	2,8	58,8	46,1	5,6
ST 360 sulco	5,1	5	13	209	1,9	0,5	0,4	5,3	2,4	55,2	48,3	3,8
ST 540 sulco	5,3	15	49	189	2,4	0,7	0,2	5,0	2,8	49,2	56,8	4,2
FR 180 lanço	5,1	17	30	157	1,9	0,6	0,4	5,9	2,0	57,2	40,2	5,0
FR 360 lanço	4,9	12	15	179	2,0	0,8	0,4	5,3	3,0	48,5	77,5	5,0
FR 540 lanço	5,0	14	24	184	2,5	1,1	0,3	5,3	4,5	35,1	87,0	3,6
FR 180 sulco	5,0	13	19	185	1,4	0,5	0,5	5,9	1,8	55,3	39,3	4,0
FR 360 sulco	4,9	12	58	200	1,4	0,6	0,6	6,3	1,8	49,0	62,0	2,8
FR 540 sulco	5,0	17	10	179	1,6	1,0	0,3	5,6	1,9	58,0	42,5	7,6

K = extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al = extração com KCl mol L<sup>-1</sup>; Cu, Fe, Mn e Zn = extrator DTPA; B = extração em água quente. Metodologias descritas em Embrapa (1999). Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

TABELA 2A Principais atributos químicos do solo aos 30 dias após a semeadura do milho (safra 2001/02).

Tratamentos	pH água (1:2,5)	P Mehlich	P Resina	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Zn	Fe	Mn	Cu
		.....mg dm <sup>-3</sup> .....			.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....				.....mg dm <sup>-3</sup> .....			
Testemunha	4,7	3	7	58	0,7	0,3	0,9	7,4	4,6	38,7	61,3	2,6
ST 180 lanço	4,8	4	9	70	0,9	0,4	0,6	6,4	5,0	48	31,5	3,6
ST 360 lanço	4,8	6	28	98	1,4	0,3	0,8	6,3	4,7	46,8	26,6	3,6
ST 540 lanço	5,2	7	17	120	1,8	0,8	0,3	4,6	2,1	45	40,9	4,6
ST 180 sulco	4,9	5	8	68	0,8	0,3	0,8	6,3	4,2	37,6	45,5	2,7
ST 360 sulco	4,8	7	12	82	1,1	0,5	0,7	6,0	5,1	50,3	35,2	3,0
ST 540 sulco	4,8	20	25	77	1,8	0,7	0,5	5,9	2,0	46,1	45,6	3,8
FR 180 lanço	5,1	15	28	89	1,3	0,4	0,4	5,3	3,2	36,3	32,3	3,3
FR 360 lanço	5,1	21	40	75	1,7	0,4	0,5	6,3	4,5	35,4	54,2	2,8
FR 540 lanço	5,1	22	52	80	1,8	1,1	0,5	6,0	3,4	31,7	51	2,5
FR 180 sulco	5,0	11	13	89	1,2	0,4	0,5	5,6	4,6	49,5	29,1	3,9
FR 360 sulco	4,9	23	28	79	1,5	0,4	0,6	6,6	4,2	42,3	41,2	2,6
FR 540 sulco	5,2	41	39	100	2,5	1,1	0,2	5,0	3,8	35,4	45,1	2,5

K = extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al = extração com KCl mol L<sup>-1</sup>; Cu, Fe, Mn e Zn = extrator DTPA; B = extração em água quente. Metodologias descritas em Embrapa (1999). Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

TABELA 3A Teores foliares de macro e micronutrientes no florescimento do milho, sob diferentes fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2000/01).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	.....g kg <sup>-1</sup> .....						.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
Testemunha	27,2	1,6	22,3	4,6	2,5	1,4	15	9	125	165	33
ST 180 lanço	28,8	2,2	19,8	6,3	2,6	1,4	15	9	123	157	22
ST 360 lanço	30,45	2,5	23,5	6,1	2,3	1,7	14	8	116	144	20
ST 540 lanço	28,8	2,6	23,9	7,1	2,8	1,6	17	8	126	139	21
ST 180 sulco	31,1	2,2	21,4	6,1	2,7	1,7	14	9	117	159	15
ST 360 sulco	30,6	2,6	22,3	7,2	3,0	1,8	15	9	113	184	13
ST 540 sulco	31,9	2,9	22,0	7,0	3,0	1,8	16	9	113	199	13
FR 180 lanço	28,8	2,0	22,0	5,0	2,1	1,6	16	9	107	150	24
FR 360 lanço	28,6	2,4	23,6	6,1	2,8	1,6	17	10	105	144	31
FR 540 lanço	27,6	2,6	22,9	6,0	2,9	1,7	15	10	130	166	27
FR 180 sulco	28,0	2,1	24,5	5,7	2,7	1,6	20	8	112	151	23
FR 360 sulco	29,6	2,7	23,5	5,8	3,0	1,8	17	9	120	184	30
FR 540 sulco	30,2	2,6	23,5	6,0	3,0	1,6	13	10	102	167	27

Análises realizadas nos Laboratórios do DCS/UFLA.

TABELA 4A Teores foliares de macro e micronutrientes no florescimento do milho, sob diferentes fontes, doses e modos de aplicação de fósforo (safra 2001/02).

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	.....g kg <sup>-1</sup> .....					.....mg kg <sup>-1</sup> .....			
Testemunha	1,6	17,6	2,7	1,4	1,9	11	90	50	25
ST 180 lanço	2,0	18,3	3,1	1,6	1,8	11	83	53	22
ST 360 lanço	2,5	20,3	3,4	1,6	2,0	11	98	64	25
ST 540 lanço	2,3	20,3	2,9	1,6	1,7	10	84	54	24
ST 180 sulco	2,4	19,6	3,1	1,5	2,0	9	88	50	24
ST 360 sulco	2,5	18,3	3,6	1,7	2,0	11	85	61	20
ST 540 sulco	2,8	21,6	3,7	1,8	1,9	10	91	67	21
FR 180 lanço	2,2	19,0	3,0	1,4	1,8	10	101	52	23
FR 360 lanço	2,4	19,0	3,3	1,6	1,7	10	86	54	26
FR 540 lanço	2,4	17,6	2,8	1,6	1,9	9	81	59	23
FR 180 sulco	1,5	15,7	2,7	1,6	1,3	10	85	49	20
FR 360 sulco	1,7	14,4	2,8	1,5	1,3	10	83	56	19
FR 540 sulco	1,9	15,0	3,6	1,9	1,6	12	85	62	19

Análises realizadas nos Laboratórios do DCS/UFLA.

TABELA 5A Resumo da análise de variância para peso de plantas (PPL), peso de grãos (PGR), teor foliar de P (P F), teor foliar de zinco (Zn F), relação fósforo/zinco na folha (P/Zn F), teor de fósforo nos grãos (P Gr), teor de zinco nos grãos (Zn Gr) e relação fósforo/zinco nos grãos (P/Zn GR) (safra 2000/01).

Fontes de variação	GL	QM							
		PPL	PGR	P F	Zn F	P/Zn F	P Gr	Zn Gr	P/Zn Gr
Fontes	1	2403397,21	6913951,14 *	0,21 *	1387,82 *	60102,83 *	0,12	351,00 *	3160,95 *
Doses de P	2	580309,50	484152,23	1,36 *	10,25	5611,89 *	1,00	71,28	948,52
Modos de aplicação	1	377947,21	19417,00	0,33 *	104,13 *	19594,40 *	1,14	62,56	3,96
Fontes x doses de P	2	1406222,87	28640,88	0,03	31,53	1624,99 *	0,48	6,59	590,22
Fontes x modos de aplicação	1	3703696,29	4496578,43 *	0,002	222,31 *	17804,32 *	1,47	59,85	4587,60 *
Doses x modos de aplicação	2	560667,84	606555,16	0,03	12,90	1276,31 *	1,27	6,74	789,12
Fontes x doses x modos aplicação	2	199867,61	319744,13	0,09	20,32	956,01	2,31 *	32,29	2093,30 *
Fatorial vs adicional	1	1123821,38	2025685,73	2,75 *	374,01 *	19767,04 *	0,25	160,32 *	2357,88 *
Tratamentos	12	1091916,48	1361151,42	0,53 *	186,52 *	11350,58 *	1,09 *	72,33 *	1579,39 *
Blocos	3	2197213,05	488876,19	0,02	52,45 *	726,70	1,18 *	12,15	377,88
Resíduo	36	1168322,68	718906,99	0,04	11,76	340,17	0,36	28,42	319,37
Total	51								
C.V. tratamentos (%)		23,27	21,20	9,22	14,67	15,65	14,65	14,48	15,54

\*significativo à 5% de probabilidade pelo teste de F.

TABELA 6A Resumo da análise de variância para acúmulo de fósforo nos grãos (A P Gr) e acúmulo de zinco nos grãos (A Zn Gr) (safra 2000/01).

Fontes de variação	GL	Quadrado médio	
		A P Gr	A Zn Gr
Fontes	1	129,49 *	753,74
Doses	2	1,51	763,70
Modo de aplicação	1	14,71	422,40
Fontes x doses	2	6,70	67,82
Fontes x modos de aplicação	1	20,88	13698,13 *
Doses x modos de aplicação	2	38,22	1306,04
Fontes x doses x modos de aplicação	2	68,50 *	660,59
Fatorial vs adicional	1	48,74	61,89
Tratamentos	12	36,98 *	1711,04
Blocos	3	53,07 *	1684,75
Erro	36	15,12	1503,01
Total	51		
CV (%)		23,56	26,51

\* significativo, a 5% de probabilidade

TABELA 7A Resumo da análise de variância para peso de plantas (P.PL), peso de grãos (P. GR), teor foliar de P (P F), teor foliar de zinco (Zn F), relação fósforo/zinco na folha (P/Zn F), teor de fósforo nos grãos (P Gr), teor de zinco nos grãos (Zn Gr) e relação fósforo/zinco nos grãos (P/Zn Gr) (safra 2001/02).

Fontes de variação	GL	QM							
		P. PL	P.GR	P F	Zn F	P/Zn F	P Gr	Zn Gr	P/ Zn Gr
Fontes	1	925924,07	30029,00	1,54 *	14,08	2143,87 *	5,8102 *	50,22	2694,15 *
Doses de P	2	5557878,98	2016463,76	0,52 *	3,43	1895,12 *	2,3258 *	1,18	2160,09 *
Modos de aplicação	1	842175,38	54700,65	0,35 *	128,05 *	574,01	5,1352 *	554,20 *	393,36
Fontes x doses de P	2	4258298,82	543327,69	0,005	9,29	243,25	0,35	6,46	114,06
Fontes x modos. aplicação	1	2267264,80	7469620,81	2,59 *	17,52	3434,25 *	0,38	36,57	2805,25 *
Doses x modos. aplicação	2	92540,97	186849,37	0,09	33,53	405,61	0,09	16,85	127,59
Fontes x doses x modos aplicação	2	10225348,80	3882793,86	0,03	3,37	9,34	2,47 *	171,55 *	102,54
Fatorial vs adicional	1	50227757,4 *	29704316,83 *	1,60 *	40,92	5131,39 *	2,50 *	138,61 *	6143,28 *
Tratamentos	12	7877604,73	4209794,72 *	0,61 *	24,98	1365,85 *	2,02 *	97,64 *	1420,38 *
Blocos	3	14963475,55	1998153,13	0,08	16,75	58,98	0,35	12,55	110,28
Resíduo	36	5685107,57	1236588,89	0,05	12,96	160,32	0,38	17,55	159,20
Total	51								
C.V. tratamentos (%)		30,99	14,10	10,20	16,18	12,69	15,16	12,39	10,31

\*significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

TABELA 8A Resumo da análise de variância para acúmulo de fósforo nos grãos (A P Gr) e acúmulo de zinco nos grãos (A Zn Gr) (Safra 2001/02).

Fontes de variação	GL	Quadrado médio	
		A P Gr	A Zn Gr
Fontes	1	400,26 *	2896,50
Doses	2	265,24 *	2554,76
Modo de aplicação	1	275,08 *	31724,59 *
Fontes x doses	2	4,16	132,72
Fontes x modos de aplicação	1	251,76 *	1176,02
Doses x modos de aplicação	2	9,92	576,32
Fontes x doses x modos de aplicação	2	88,05	8211,95 *
Fatorial vs adicional	1	983,34 *	13888,79 *
Tratamentos	12	220,43 *	6053,12 *
Blocos	3	71,38	3498,96
Erro	36	57,03	2456,19
Total	51		
CV (%)		23,15	18,74

\* significativo, a 5% de probabilidade