

SANDRA FIRME DE ARAÚJO

**INTERAÇÃO P × Zn AVALIADA PELOS TEORES DE Zn TOTAL E  
SOLÚVEL E PELA ATIVIDADE DA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASE  
EM MUDAS DE CAFEIEIRO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010

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

T

A663i  
2010

Araújo, Sandra Firme de, 1980-  
Interação P<sub>x</sub>Zn avaliada pelos teores de Zn total e solúvel  
e pela atividade da enzima superóxido dismutase em mudas  
de cafeeiro / Sandra Firme de Araújo. – Viçosa, MG, 2010.  
ix, 41f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador : Renildes Lúcio Ferreira Fontes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 26-33.

1. Café - Mudas - Nutrição. 2. Zinco. 3. Fósforo.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.738

SANDRA FIRME DE ARAÚJO

INTERAÇÃO P × Zn AVALIADA PELOS TEORES DE Zn TOTAL E SOLÚVEL  
E PELA ATIVIDADE DA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASE EM MUDAS  
DE CAFEIEIRO

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

APROVADA: 23 de julho de 2010



Prof. Edson Márcio Mattiello  
(Coorientador)



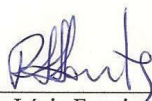
Prof. Víctor Hugo Álvarez V.  
(Coorientador)



Pesq. Paulo César de Lima



Dra. Ecila Mercês Albuquerque Villani



Prof. Renildes Lúcio Ferreira Fontes  
(Orientador)

*Aos meus pais, pela confiança depositada.*

*Ao meu sogro Antônio Valenza (sempre presente)*

Dedico.

*“É melhor tentar e falhar,  
que se preocupar e ver a vida passar;  
é melhor tentar, ainda que em vão,  
que se sentar fazendo nada até o final.  
Eu prefiro na chuva caminhar,  
que em dias tristes em casa me esconder.  
Prefiro ser feliz, embora louco,  
que em conformidade viver ...”*

Martin Luther King

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, Cor - Jesus e Efigênia que estão na gênese de tudo o que sou, da minha formação. Obrigada pelo exemplo de dedicação ao trabalho.

Ao Francesco, obrigada por me contagiar com seu amor ao conhecimento, por me ouvir sempre com atenção, pelo respeito ao meu novo aprendizado, pelos conselhos, pela paciência e pelo companheirismo.

Aos meus alunos, da Escola Estadual Dr. Mariano da Rocha, por terem colocado várias flores no meu novo caminho.

Às minhas filhas, Antonietta e Giovanna, perdoem-me pela ausência e a impaciência tantas vezes sentidas.

À Ana Paula Oliveira Nogueira e Leonardo Campos Faria pela valiosa contribuição e companheirismo.

À Ecila Villani, pelas sugestões, críticas e principalmente pelo apoio.

Ao meu tio José Carlos Monsueto (tio Cacá), sempre uma referência em minha vida, obrigado pelas palavras, pelas críticas, por me ver crescer.

Eliane (Nane), Henrique Nery, Aline Andréia e Marcus Locatelli pelo convívio agradável e pela colaboração. Ao André, de forma especial, pela ajuda valiosa com a estatística, pelos conselhos e palavras de incentivo.

Ao professor Renildes Fontes, pela orientação, pela grande atenção, amizade e principalmente pelo apoio nesta reta final. Serei eternamente grata por tudo que o senhor fez por mim.

Ao professor Victor Hugo, pela amizade, compreensão, pelas palavras de incentivo, pela valiosa contribuição na realização deste trabalho e pelos ensinamentos.

Ao Prof. Novais, pelas críticas e sugestões.

Ao Prof. Matiello pelo profissionalismo e atenção.

Aos Professores Júlio César Lima Neves e Mariana B. Côrrea (Curso de Inglês-Viçosa, MG), pelo incentivo e apoio ao meu ingresso no curso de mestrado.

Aos Srs. Chiquito e Antônio Valenza, pelas palavras de incentivo durante toda a graduação, de onde tirei forças para seguir com o meu mestrado. Obrigado por terem feito parte da minha vida, levarei para sempre tudo que aprendi com os senhores.

A tia Mara e Antônio Eustáquio (tonho) pelas palavras de incentivo durante o curso.

Aos técnicos do Laboratório, Domingos Sávio e Itamar (Fitotecnia), Cardoso, Beto, Carlos Fonseca, Cláudio (Solos), pela amizade e ajuda prestada durante as análises de solos.

A todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para o enriquecimento dos meus conhecimentos.

Aos colegas pós-graduandos da UFV, pela mútua troca de conhecimento.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pela disponibilidade. A secretária Luciana (Tia Lú) e Sônia, de forma especial, por toda a atenção e carinho, muito obrigada.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

SANDRA FIRME DE ARAÚJO, filha de Cor - Jesus Firme de Araújo e Efigênia Xisto Pereira de Araújo nasceu no dia 27 de outubro de 1980, na cidade de São Paulo, SP.

Em julho de 2008, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em nível de mestrado, da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2010.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUÇÃO .....	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (PMS).....	9
TEORES DE NUTRIENTES NAS PLANTAS .....	15
ATIVIDADE DA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASE (SOD) NAS PLANTAS .....	21
CONCLUSÕES .....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

## RESUMO

ARAÚJO, Sandra Firme de. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010. **Interação P x Zn avaliada pelos teores de Zn total e solúvel e pela atividade da enzima superóxido dismutase em mudas de cafeeiro.** Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Co-orientadores: Edson Márcio Mattiello e Víctor Hugo Alvarez V.

O cafeeiro é uma planta exigente em micronutrientes, especialmente, em Zn, e a interação P x Zn é uma questão importante para o manejo de solos tropicais, haja vista a utilização de altas doses de P em solos com baixa disponibilidade deste nutriente. Neste trabalho foi estudada a resposta de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí às doses de Zn e P, incluindo-se o suprimento de P que correspondeu a uma alta disponibilidade de P, portanto, a um alto potencial de antagonismo em relação à disponibilidade de Zn. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação entre o período de outubro/2009 a janeiro/2010 (122 dias de condução do experimento), utilizando esquema fatorial  $4 \times 4$ , distribuído em blocos casualizados, com três repetições, sendo quatro doses de Zn (0, 5, 15, e 45 mg/dm<sup>3</sup> de solo) e quatro doses de P (0, 200, 600 e 1.800 mg/dm<sup>3</sup> de solo). No solo, tendo como fonte ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, as doses de Zn foram aplicadas em solução via solo, e as doses de P foram incorporadas, sendo a fonte o superfosfato triplo. Utilizaram-se amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo textura franco-arenosa originário de Três Marias – MG e mudas de café com quatro pares de folhas, que foram transplantadas para vasos (2 dm<sup>3</sup> de solo), mantendo-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Avaliaram-se o teor total de Zn nos órgãos das plantas (folha, caule e raiz) e a fração solúvel de Zn (folha), os teores totais de P (folha, caule e raiz), atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), altura de plantas, número de nós por planta, comprimento médio dos entrenós e produção de matéria seca (folha, caule e raiz). Não houve alterações significativas nos teores de Zn total nas folhas com o aumento das doses de P adicionadas ao solo, embora os teores de Zn solúvel (ativo) tenham diminuído, indicando, neste caso, interação antagônica entre as variáveis. A atividade da SOD foi reduzida com o aumento nas doses de Zn adicionadas ao solo. O crescimento das mudas de café foi influenciado pela interação P e Zn.

## ABSTRACT

ARAÚJO, Sandra Firme de. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2010.

**Interaction P x Zn evaluated by the levels of total and soluble Zn and by the activity of dismutase superoxide enzyme in coffee seedlings.** Adviser: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Co-advisers: Edson Marcio Matiello and Victor Hugo Alvarez V.

The coffee tree is a demanding plant in micronutrients, especially Zn, and the P x Zn interaction is an important issue for the management of tropical soils, due to the use of high doses of P in soils with low availability of this nutrient. In this work was studied the seedlings response of *Coffea arabica* L. cv. Catuaí to doses of Zn and P, including the supply of P corresponding to a high availability of P, therefore, a high antagonism potential to the availability of Zn. The experiment was carried out in a greenhouse in the period between the October/2009 and January/2010 (122 days of conducting the experiment), using 4 × 4 factorial design, distributed in randomized blocks, with three replications, being four doses of Zn (0, 5, 15, and 45 mg / dm<sup>3</sup> of soil) and P (0, 200, 600 and 1,800 mg / dm<sup>3</sup> of soil). On the soil, having as a source ZnSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O, the doses of Zn were applied trough a soil solution and P levels were incorporated, being the source the triple superphosphate. It was used samples of a Red Yellow sandy-loam originating from Três Marias - MG and coffee seedlings with four pairs of leaves, which were transplanted to pots (2 dm<sup>3</sup> of soil), maintaining soil moisture near to field capacity. It was evaluated the total content of Zn in plant parts (leaf, stem and root), the soluble fraction of Zn (leaf), the levels of total P (leaf, stem and root), the enzyme superoxide dismutase (SOD) , plant height, number of nodes per plant, average length of internodes and dry matter production (leaf, stem and root). There were no significant changes in levels of total Zn in leaves with increasing doses of P added to soil, although the levels of soluble Zn (active) have fallen, indicating, in this case, antagonistic interaction between the variables. The SOD activity was reduced with increasing doses of Zn added to soil. The growth of coffee seedlings was influenced by the interaction between P and Zn.

## INTRODUÇÃO

O café é uma das culturas mais tradicionais do Brasil. Por muito tempo, foi a base da economia brasileira e teve papel de destaque na história do país, influenciando, inclusive, a política e a sucessão de poderes. Mesmo com a diversificação da economia, o café continua a contribuir grandemente para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil que é o maior produtor mundial do grão.

Para a safra 2009/2010, estima-se uma produção de 47,04 milhões de sacas de café beneficiado, o que corresponde a 37 % da produção mundial (CONAB, 2010). Da produção nacional, Minas Gerais responde por aproximadamente 49 %, graças à maior área cultivada em relação aos outros estados (1,023 Mha). A produtividade média das lavouras mineiras, contudo, é baixa (20,58 sacas por ha), reflexo de fatores climáticos, econômicos e manejo cultural (CONAB, 2009).

Os cafezais brasileiros ocupam regiões com diferentes tipos de solo, sendo a maioria de baixa fertilidade natural. Predominam solos com acidez elevada, baixos teores de matéria orgânica, baixa disponibilidade de P, Ca, Mg, K e de micronutrientes (Matiello et al., 2005).

Em uma cultura de elevada demanda por micronutrientes como o cafeeiro, as baixas disponibilidades desses elementos nos solos acarreta em diminuição de produtividade (Martinez et al., 2003). Dentre os micronutrientes, o Zn tem sido considerado como o mais importante para a nutrição do cafeeiro, e sua deficiência ocorre amplamente nos solos brasileiros, especialmente em regiões de cerrado, devido à pobreza do material de origem (Malavolta et al., 1997).

Em Minas Gerais, a baixa disponibilidade de Zn foi evidenciada em trabalho de Corrêa et al, (2000). Estes autores verificaram que 54,7 % das lavouras cafeeiras da região sul do Estado apresentavam teores foliares de Zn abaixo da faixa de suficiência definida por Malavolta et al. (1997). Em outro trabalho é mencionado que essa faixa de suficiência, com base no teor total de Zn na matéria seca de folhas recém-maduras do cafeeiro, varia entre 8 e 30 mg kg<sup>-1</sup> (Martinez et al., 2003).

O teor de Zn total pode não ser um bom indicador do estado nutricional das plantas, pois não representa a fração do Zn fisiologicamente ativo nas células (Cakmak & Marschner, 1987; Qadar, 2002). Segundo Cakmak & Marschner (1987)

uma fração da quantidade do Zn absorvido pode estar depositada junto às paredes celulares, quelatado por ligantes orgânicos ou precipitado com outros íons, por exemplo, os fosfatos, além de outras situações que o tornam fisiologicamente inativo.

O Zn desempenha diversas funções na fisiologia e bioquímica das plantas, destacando-se a manutenção da integridade estrutural das membranas, como constituinte de um grande número de enzimas, dentre elas a álcool desidrogenase (ADH), a Cu-Zn superóxido dismutase (Cu-Zn SOD) e a anidrase carbônica (Hansch & Mendel, 2009); a atividade de algumas dessas enzimas possibilita a avaliação do estado nutricional do Zn. Em condições de elevados teores de P nos tecidos foliares, a quantificação dessas enzimas pode auxiliar no diagnóstico do estresse nutricional (Marschner, 1995). Dentre as diversas enzimas contendo Zn, a Cu-Zn superóxido dismutase (Cu-Zn SOD) tem importante papel na proteção da planta contra danos oxidativos causados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) e sua atividade correlaciona-se positivamente com o Zn ativo na planta.

Nas plantas, as EROs são geradas continuamente como subprodutos da fotossíntese e outros processos metabólitos celulares (Foyer & Noctor, 2000). EROs também podem ser induzidas ativamente por estresses como infecção de patógenos, estiagem, desequilíbrio nutricional, altas temperaturas e elevada disponibilidade de metais pesados (Marschner, 1995; Apel & Hirt, 2004).

A SOD apresenta-se em três isoformas possíveis dentro da célula, que se caracterizam pelo metal ligado ao seu sítio ativo. A Fe-SOD encontra-se em maior quantidade nos citosol e cloroplastos, a Cu-Zn-SOD, predominantemente no citosol, e a Mn-SOD localiza-se principalmente nas mitocôndrias (Giannopolitis & Ries, 1977; Bowler et al., 1992; Del Rio et al., 1998).

Embora a SOD faça parte do primeiro ajuste da tolerância das plantas ao estresse oxidativo, seu produto, o  $H_2O_2$ , quando acumulado é menos prejudicial que o superóxido, e sua eliminação pode ser realizada tanto por catalases quanto por peroxidases (Asada, 1999). Marschner (1995) relata que, sob deficiência de Zn, a redução na atividade da SOD favorece o incremento dos danos oxidativos, ocasionando a diminuição no teor de clorofila e na atividade fotossintética.

López Millán et al. (2005), avaliando plantas nativas e mutantes de *Medicago trunculata*, selecionaram mutantes capazes de acumular elevados teores de Zn em seus tecidos e ainda desenvolver sintomas de deficiência de Zn, indicando ter grande parte do Zn fisiologicamente inativo. Os autores também observaram que a atividade

da enzima superóxido dismutase total (Cu-Zn-SOD + Mn-SOD + Fe-SOD) foi 1,4 vezes menor na condição de deficiência de Zn. Com o aumento da concentração de Zn de 0,01 para 10  $\mu\text{mol/L}$  em solução nutritiva, Pandey et al. (2002) obtiveram aumento significativo na atividade da Cu-Zn-SOD em folhas de *Vigna mungo*.

Em três genótipos de trigo, diferentes quanto à eficiência metabólica relacionada ao Zn, dois Zn - eficiente e um Zn - ineficiente, detectou-se redução nas atividades da Cu-Zn-SOD e anidrase carbônica quando as plantas foram cultivadas sob condições de deficiência de Zn (Hacisalihoglu et al., 2003).

Yu et al. (1999), em estudos com plantas de tabaco cultivadas em solução nutritiva, avaliaram plantas sem e com suprimento de Zn, tendo verificado que a atividade total da SOD foi reduzida em condições do não fornecimento do Zn. Esses autores concluíram ainda que a deficiência dos micronutrientes Cu, Zn e Mn pode, dependendo do grau de deficiência, alterar a atividade das enzimas antioxidantes em plantas de tabaco.

Wang et al. (2009) também verificaram redução da atividade da SOD com a aplicação de Zn em nabo, atribuindo esse efeito à menor atividade da CAT (catalase), que promove acúmulo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  na célula (produto da SOD), e à maior integridade da parede celular, que reduz a geração de EROs.

A mobilidade e a disponibilidade de Zn nos solos são controladas por diversos fatores, os quais influenciam na adsorção, dessorção e equilíbrio entre as fases líquida e sólida (Moraghan & Mascagni Jr., 1991), sendo o fluxo difusivo a principal forma de transporte de Zn, dada sua baixa concentração na solução do solo (Marschner, 1995). O pH, os teores de argila, de matéria orgânica e de oxihidróxidos de Fe e óxidos de Al e a capacidade de troca catiônica são as variáveis que mais interferem na disponibilidade Zn do solo (Abreu et al., 2007).

O pH é apontado como o fator mais importante no controle do fluxo difusivo de Zn no solo (Oliveira et al., 1999; Pegoraro et al., 2006). A deficiência de Zn em plantas pode ser observada, com maior frequência, em solos com valores de pH acima de 6,0, dada a formação de compostos insolúveis como  $\text{Zn(OH)}_2$  e  $\text{ZnCO}_3$  (Casagrande et al., 2008).

Os sintomas visuais comumente observados em plantas deficientes de Zn incluem clorose foliar, folhas menores, ramos com número reduzido de folhas e internódios curtos com aspecto de roseta na ponta dos galhos, seca de ponteiros,

superbrotamento e frutos menores, com perdas de produtividade (Malavolta et al., 1997).

Trabalhos como os de Souza & Ferreira (1991) e Martinez et al. (2005) mencionam que problemas na nutrição com Zn têm sido observados em decorrência do aumento das doses de adubos fosfatados, objetivando atingir produtividades cada vez maiores. Sintomas de deficiência de Zn têm ocorrido frequentemente em viveiros de mudas, associados a elevados teores de P nos substratos em decorrência da adubação (Cakmak & Marschner, 1987; Marques, 1990; Parker et al., 2002; Iorio et al., 1996). Elevadas doses de adubação fosfatada podem levar à deficiência induzida de Zn também em cafeeiros (Souza & Ferreira, 1991; Martinez et al., 2005)

O P participa na estrutura química de compostos essenciais ao metabolismo vegetal, tais como ácidos nucleicos, fosfolípidios, dentre outros, e na molécula do trifosfato de adenosina, que é essencial para a produção, a transferência e o armazenamento de energia na planta. As plantas deficientes em P são diferenciadas pela clorose parcial do limbo das folhas intermediárias (Marschner, 1995).

Com relação à interação entre os nutrientes, Ferreira et al. (2001) consideram a interação entre P e Zn como a mais importante para o manejo de solos tropicais. Em revisão sobre a interação entre P e Zn na planta, Robson (1993) encontrou diversos trabalhos com resultados controversos. Em muitos, maiores doses de P reduziam o teor de Zn na planta, enquanto outros não verificavam efeitos significativos, ou mesmo mostravam incrementos do teor de Zn na parte aérea.

A ação depressiva de altos teores de P no solo sobre o teor foliar de Zn em várias culturas é bastante conhecida (Cakmak & Marschner, 1987; Li et al., 2003; Barzegar et al., 2003; Intiaz et al., 2006; Pozza et al., 2009). A alta afinidade do  $Zn^{2+}$  com o fosfato, formando  $ZnH_2PO_4^+$ , e sua adsorção no complexo trocável do solo, diminui a atividade das formas de Zn livres na solução do solo e sua difusão para as raízes (Agbenin, 1998).

De acordo com Marschner (1995), a deficiência de Zn altera o metabolismo de P nas raízes, devido ao aumento da permeabilidade da membrana plasmática das células das mesmas. Desta forma, o aumento da absorção de P em plantas deficientes em Zn pode, em parte, ser uma expressão da maior permeabilidade passiva da membrana plasmática das células da raiz ou o impedimento do controle do carregamento ao xilema. Observa-se que as interações entre P e Zn que podem

ocorrer tanto no solo como na planta, são complexas e carecem de mais estudos (Robson, 1993).

De acordo com Malavolta (1992), a folha é o órgão que proporciona melhor diagnóstico do estado nutricional da planta. Uma planta bem nutrida possui em suas folhas todos os elementos em quantidades e proporções adequadas, e lavouras produtivas necessariamente são lavouras bem nutridas.

Atualmente, a análise foliar tem sido uma ferramenta muito utilizada para avaliar o estado nutricional de plantações comerciais (Cantarutti et al., 2007). Entretanto, a análise de cada nutriente isoladamente é muito limitada devido à interação que pode haver entre os nutrientes no decorrer do metabolismo vegetal, e no caso do P e do Zn, a avaliação conjunta destes elementos poderá fornecer dados mais conclusivos sobre a nutrição da cultura, subsidiando assim, recomendações de adubação mais eficientes.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta de mudas de cafeeiro *Coffea arabica* L. cv. Catuaí às doses de Zn e P com relação ao seu crescimento, aos teores de Zn total e solúvel e à atividade da SOD.



## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras da camada superficial de 0 - 20 cm de um Latossolo Vermelho Amarelo textura franco-arenosa originário de Três Marias - MG. A caracterização do solo foi realizada previamente à execução do experimento.

O solo foi destorroado, seco ao ar e peneirado em peneira de malha de 2 mm; posteriormente, amostras foram submetidas às análises químicas e físicas, conforme procedimentos recomendados por Embrapa (1997) (Quadro 1).

Mudas de cafeeiro *Coffea arabica* L. cv. Catuaí com quatro pares de folhas foram transplantadas para vasos contendo 2 dm<sup>3</sup> de solo. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação no período de outubro de 2009 a janeiro de 2010, totalizando 122 dias, e os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 × 4, em blocos casualizados, com três repetições, sendo quatro doses de Zn aplicadas em solução via solo (0, 5, 15, e 45 mg/dm<sup>3</sup> de solo), quatro doses de P incorporadas ao solo (0, 200, 600 e 1.800 mg/dm<sup>3</sup>). A fonte de Zn utilizada foi ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O p.a. e a de P foi superfosfato triplo moído.

A unidade experimental foi composta por dois vasos com duas mudas de café em cada um. A correção da acidez foi realizada utilizando a mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> (1,68 g/dm<sup>3</sup>) na proporção molar de 4:1, seguindo a recomendação para o Estado de Minas Gerais (Alvarez V. et al., 1999), sendo o solo incubado por 15 dias, com a umidade mantida próxima à capacidade de campo.

Juntamente com a aplicação dos tratamentos foi fornecida adubação básica para todas as unidades experimentais na forma de reagentes p.a.: 100 mg/dm<sup>3</sup> de N (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), 100 mg/dm<sup>3</sup> de K (KCl), 40 mg/dm<sup>3</sup> de S (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); 0,8 mg/dm<sup>3</sup> de B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>); 1,5 mg/dm<sup>3</sup> de Cu (CuCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O), 4 mg/dm<sup>3</sup> de Fe (FeCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O), 3,6 mg/dm<sup>3</sup> de Mn (MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O), e 0,15 mg/dm<sup>3</sup> de Mo ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O).

**Quadro 1.** Características químicas e físicas de amostra do solo utilizado no experimento

<b>Característica</b>	<b>Resultado</b>
pH água (1:2,5)	5,19
P (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	1,40
K (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	26,00
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	0,12
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	0,02
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	0,22
H+Al (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> ) <sup>(3)</sup>	3,30
SB (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> )	0,23
Zn (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,34
Fe (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	36,40
Mn (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	3,90
Cu (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,12
B (mg / dm <sup>3</sup> ) <sup>(4)</sup>	0,10
Mat. Orgânica (dag / kg) <sup>(5)</sup>	0,90
P-rem (mg / L) <sup>(6)</sup>	33,60
CTC <sub>efetiva</sub> (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> )	0,45
CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> )	3,53
V (%)	6,50
m (%)	48,9
Areia grossa (g / kg) <sup>(7)</sup>	180
Areia fina (g / kg) <sup>(7)</sup>	640
Silte (g / kg) <sup>(7)</sup>	20
Argila (g / kg) <sup>(7)</sup>	160
Equivalente de umidade (g / kg) <sup>(8)</sup>	65

<sup>(1)</sup>Extrator Mehlich-1; <sup>(2)</sup>Extrator KCl 1 mol / L; <sup>(3)</sup>Extrator Acetato de Cálcio, pH 7; <sup>(4)</sup>Extrator água quente; <sup>(5)</sup>Método Walkley-Black; <sup>(6)</sup>Concentração de P na solução de equilíbrio, após agitação do solo com uma solução de 60 mg / L de P, por uma hora, na relação solo:solução de 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000); <sup>(7)</sup>Método da pipeta (Embrapa, 1997); <sup>(8)</sup>Embrapa (1997).

A primeira adubação de cobertura com N foi feita aos sete dias após o transplantio das mudas, e foi repetida semanalmente aplicando-se 50 mg/dm<sup>3</sup>.

Ao final do experimento foram avaliados a altura das plantas, o número de folhas, o comprimento dos entrenós e a produção de matéria seca de folha, de caule e de raiz.

Também foram colhidas amostras das plantas que, após terem sido secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 72 °C, até atingir peso constante e passadas em moinho tipo Wiley, tiveram a massa determinada, e após digestão nítrico-perclórica, os extratos das amostras vegetais foram analisados em um espectrofotômetro de emissão ótica acoplado a plasma induzido (ICP- OES) Perkin Elmer modelo Optima 3300-DV para determinação dos teores totais de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn.

Para a determinação do Zn solúvel na matéria fresca de folhas foi coletado o segundo par de folhas, e o Zn total na matéria seca foi determinado a partir das folhas restantes. Antes da secagem das folhas para determinar os teores totais de Zn e P, as folhas foram lavadas em água corrente após serem submersas em solução de HCl 0,01 mol / L, por 1 min, e, em seguida, lavadas duas vezes em água destilada.

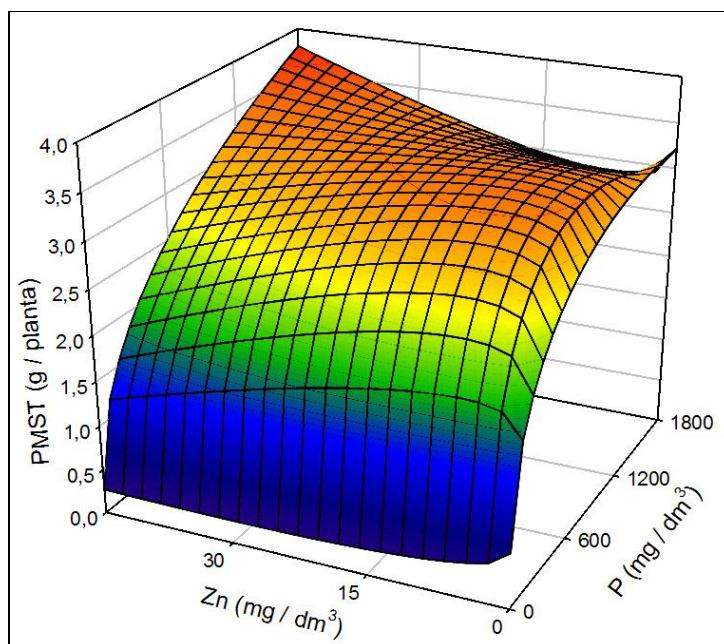
Na matéria fresca de folhas foi determinada a fração solúvel de Zn em água (Cakmak & Marschner, 1987), que consistiu na masceração de 3 g de tecido vegetal fresco num almofariz com 9 ml de solução 1 mmol/L de ácido 2-(N-morfolino) etanosulfônico (MES) a pH 6,0. Este material foi centrifugado a 10.000 g durante 15 min e o Zn solúvel determinado no ICP-OES. A atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD) total foi mensurada conforme Giannopolitis & Ries (1977).

Após a análise de variância foram feitas regressões para todas as variáveis em função das doses de P e Zn, gerando uma superfície de resposta para cada variável avaliada. Posteriormente, as equações de regressão foram ajustadas para cada variável mensurada em função das doses de Zn dentro de cada dose de P.

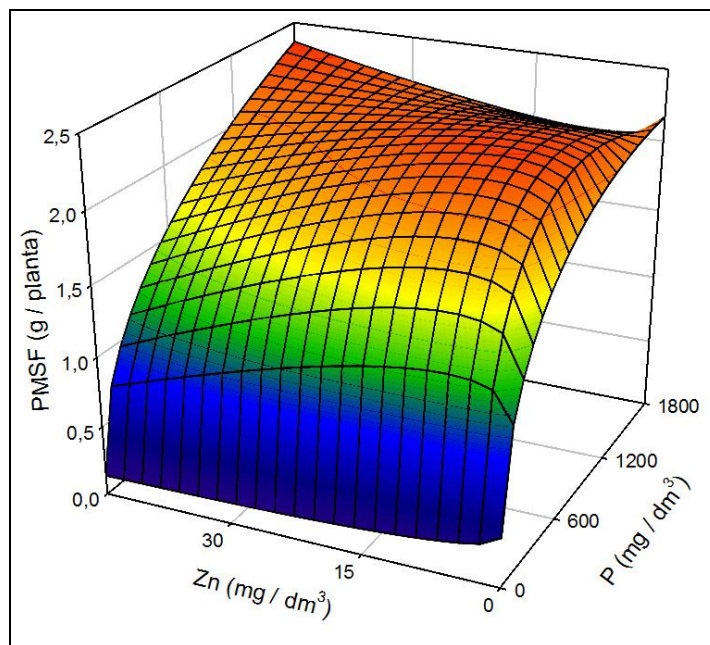
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento

Os resultados de produção de matéria seca total (PMST) e de folhas (PMSF) das plantas indicam sinergismo entre Zn e P, uma vez que, sem adição de P, os incrementos na produção de matéria seca em função da dose de Zn foram menores (Figuras 1 e 2). Maiores produções de matéria seca foram obtidas com as combinações das maiores doses de Zn e P. Contudo, elevadas doses de P, mesmo que combinadas com baixas doses de Zn, também resultaram em elevada produção de matéria seca. Possivelmente, o teor de Zn original do solo supriu parcialmente a demanda por Zn das mudas de cafeeiro no estágio avaliado.



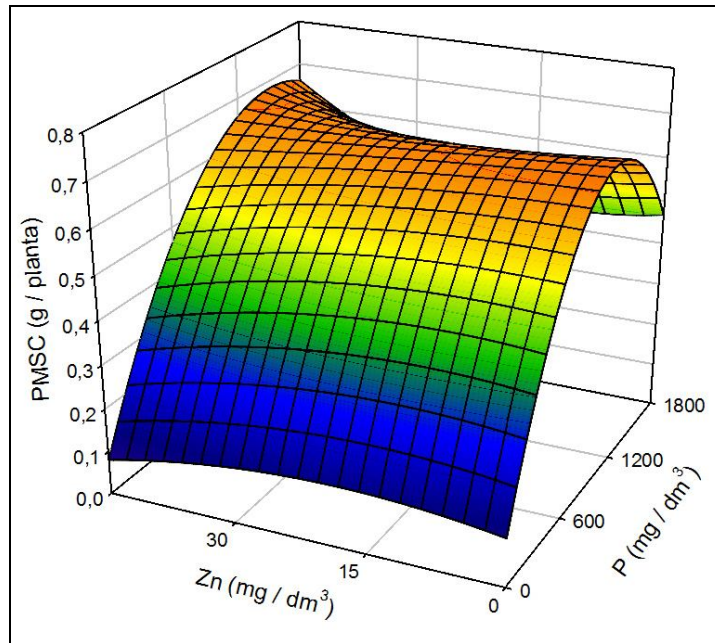
**Figura 1.** Produção de matéria seca total das mudas de cafeeiro em função de doses de P e de Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 0,618 + 0,128961^{\circ} P^{0,5} - 0,001594^{**} P - 0,128047 Zn^{0,5} + 0,011381^{**} Zn + 0,050790^{**} P^{0,5} Zn^{0,5} - 0,008154^{*} P^{0,5} Zn - 0,001280^{*} P Zn^{0,5} + 0,000216^{**} P Zn$ ;  $R^2 = 0,886$ .



**Figura 2.** Produção de matéria seca de folhas de mudas de cafeeiro em função de doses de Zn e de P aplicados via solo.  $\hat{y} = 0,353 + 0,082682^{**} P^{0,5} - 0,000939^{**} P - 0,056616^{*} Zn^{0,5} + 0,003663^{**} Zn + 0,033357^{**} P^{0,5} Zn^{0,5} - 0,005351^{*} P^{0,5} Zn - 0,000819^{*} P Zn^{0,5} + 0,000136^{**} P Zn$ ;  $R^2 = 0,882$ .

Observou-se que o P foi mais limitante do que o Zn para o crescimento das mudas, pois proporcionou maior efeito sobre a PMST e a PMSF. Já a resposta ao Zn foi mais evidente quando havia maior disponibilidade de P (Figuras 1 e 2). Pode-se observar também que a dose de Zn necessária para atingir a máxima PMST e a máxima PMSF aumentou à medida que aumentou-se a dose de P (Figuras 1 e 2).

Esse comportamento não foi observado para a produção de matéria seca de caule (PMSC). Neste caso, a maior produção (0,690 g/planta) foi obtida na combinação das doses de 1.080 e 45 mg/dm<sup>3</sup> de P e Zn, respectivamente (Figura 3).



**Figura 3.** Produção de matéria seca de caules de mudas de cafeeiro em função de doses de Zn e de P aplicados via solo.  $\hat{y} = 0,111 + 0,001044^{**} P - 0,00000047^{**} P^2 + 0,003193 Zn - 0,000086 Zn^2 - 0,000004^{**} P Zn - 0,00000003^{*} P Zn^2 + 0,0000000001^{**} P^2 Zn^2$ ;  $R^2 = 0,792$ .

Em doses inferiores a  $200 \text{ mg/dm}^3$  de P, a produção de matéria seca de folhas, de caule (PMSC) e total foi severamente prejudicada (Figuras 1 a 3). Isso ocorreu, provavelmente, devido à disponibilidade de P do solo estar abaixo do requerido para o crescimento adequado das mudas, uma vez que o P participa de vários processos metabólicos nas plantas, como a transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, metabolismo de carboidratos, entre outros (Vance et al., 2003).

De acordo com Alvarez V. et al. (1999), o teor de P originalmente disponível no solo (Quadro 1) estava “muito baixo” e é possível que a limitação deste nutriente tenha impedido a observação de resposta positiva à aplicação de Zn. Além disso, nas maiores doses de Zn, observaram-se sintomas de toxidez, caracterizados por manchas pardo-avermelhadas, que foram mais intensos nos tratamentos sem P (Figura 4).



**Figura 4.** Mudas de cafeeiro apresentando sintomas de toxidez de Zn.

Souza et al. (2001), avaliando a resposta de três variedades de café a diferentes doses de Zn aplicadas via solo em vasos, também verificaram efeito tóxico do Zn nas maiores doses (20 e 40 mg/dm<sup>3</sup>). Apesar de sua essencialidade para as plantas, o Zn pode ser altamente tóxico quando presente em concentração excessiva (Broadley et al., 1997).

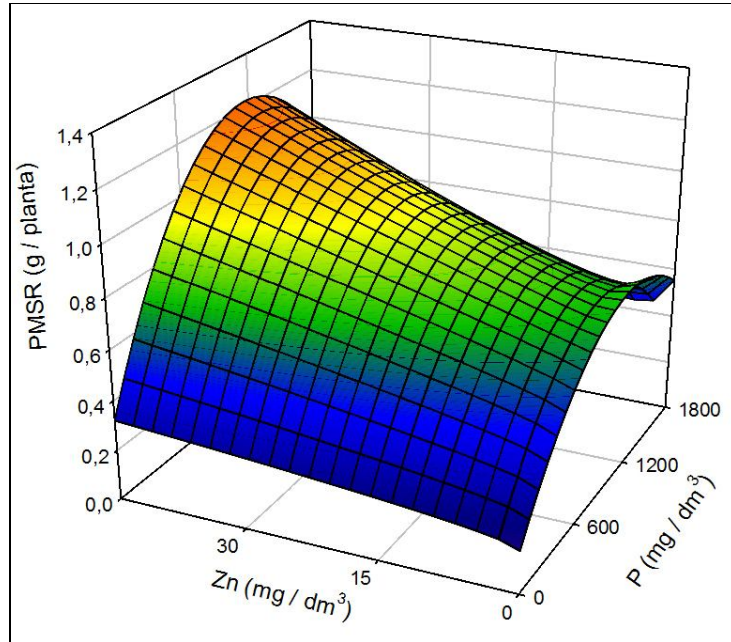
Em casos de toxidez de Zn, as folhas também podem apresentar pigmentações avermelhadas tanto no pecíolo como nas nervuras, além de clorose (Dechen et al., 2006; Prado, 2008). Como o Zn dificulta a redução e o transporte do Fe na planta, esses sintomas resultam da baixa concentração de Fe nos tecidos (Foy et al., 1978; Dechen *et al.*, 2006). Já que o Fe participa da síntese de clorofila, sua deficiência também leva à redução do crescimento e desenvolvimento da planta.

Adicionalmente, no xilema de algumas plantas intoxicadas por Zn, podem acumular tampões “plugs” contendo o elemento, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta (Malavolta et al., 1997) e contribuem para a diminuição das concentrações de clorofila (a e b) e proteínas solúveis nas plantas (Khurana & Chatterjee, 2001). Esses efeitos, cumulativamente, podem explicar o efeito negativo na produção de matéria seca total e de folhas da planta.

Quando o aumento da disponibilidade de P não é acompanhado de maiores aplicações de Zn, verificou-se decréscimo na produção de matéria seca. De fato, o maior suprimento de P aumenta a necessidade de Zn, visto que as plantas apresentam maior atividade fotossintética.

Já a produção de matéria seca de raiz (PMSR) aumentou com as doses de Zn, mesmo nas menores doses P (Figura 5). Contudo, houve incremento de PMSR até a

dose de 1.180 mg/dm<sup>3</sup> de P para qualquer dose de Zn, sendo que, quanto maior a dose de Zn, maior a PMSR. Doses de P superiores a 1.180 mg/dm<sup>3</sup> resultaram em decréscimo de PMSR.



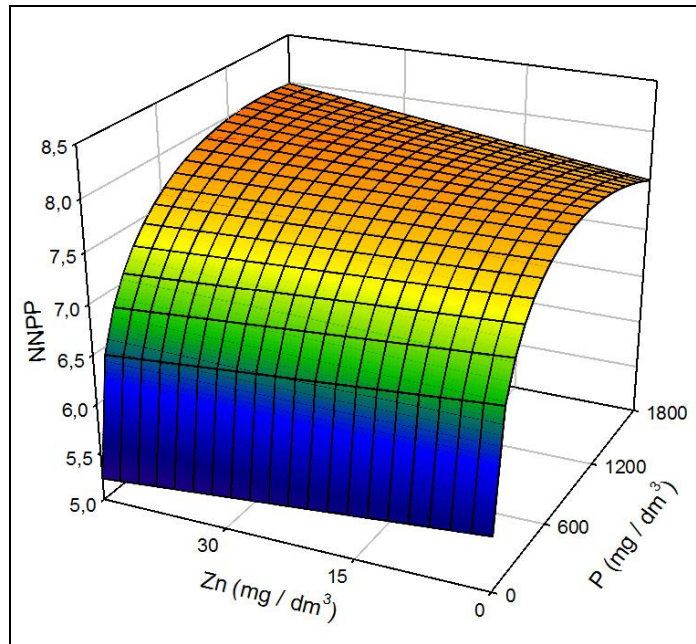
**Figura 5.** Produção de matéria seca de raízes de mudas de cafeeiro em função de doses de Zn e de P aplicados via solos.  $\hat{y} = 0,168 + 0,000934^{**} P - 0,00000040^{**} P^2 + 0,016538 Zn^{0,5} + 0,000934 Zn + 0,000005* P Zn^{0,5} + 0,000013^{**} P Zn - 0,00000004^{**} P^2 Zn^{0,5}$ ;  $R^2 = 0,8274$ .

O decréscimo na produção de PMSC e PMSR nas doses mais elevadas de P indicar mudança na relação entre a produção de tecidos fotossintetizantes e tecidos sem atividade fotossintética, visto que a PMSF e a PMST aumentaram com as doses de P. De fato, como há maior disponibilidade de P no solo, há maior investimento de energia para produção de folhas em detrimento da produção de raiz e de caule, dada a maior atividade fotossintética (Alves et al., 2003). Além disso, é comum observar redução da relação raiz/parte aérea das plantas quando aumenta-se o suprimento de P (Nobel et al., 1989).

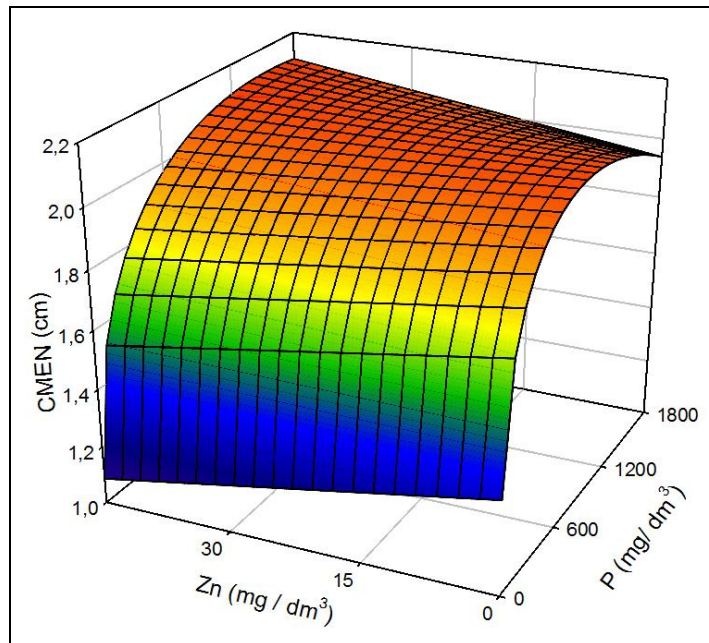
O número de nós dos caules das plantas aumentou com as doses de P, sem grande interferência da aplicação de Zn (Figura 6), contudo, o efeito do Zn pode ser observado no comprimento médio de entrenós (Figura 7) e na altura das plantas (Figura 8). Quanto maiores as doses de Zn, menores o comprimento médio dos



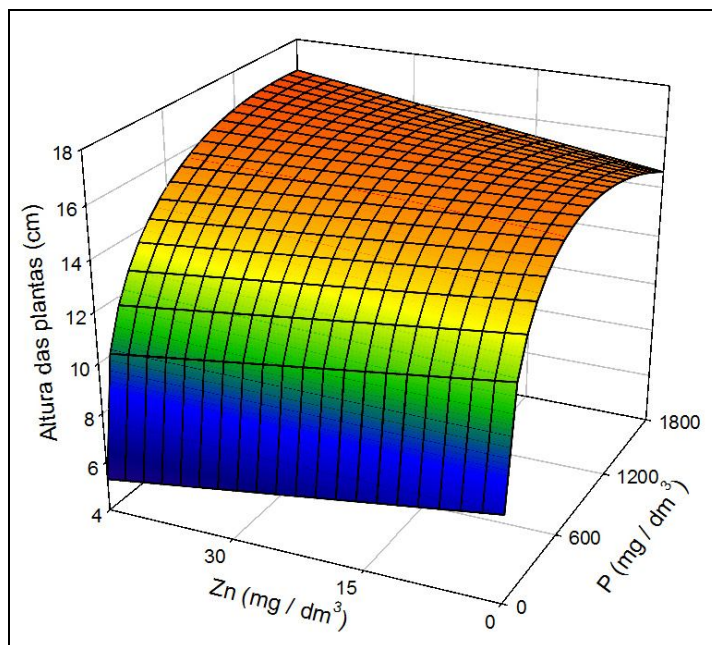
entrenós e a altura das plantas, exceto para doses de P superiores a 900 e 855 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente, observando-se estabilização a partir desses valores.



**Figura 6.** Número de nós por planta em mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 5,557024 + 0,143853^{**} P^{0,5} - 0,002306^{**} P - 0,007402^{**} Zn + 0,000010^{\circ} P Zn$ ;  $R^2 = 0,945$ .



**Figura 7.** Comprimento médio do entrenó em mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 1,33 + 0,052569^{**} P^{0,5} - 0,000897^{**} P - 0,005260 Zn + 0,000005^{\circ} P Zn$ ;  $R^2 = 0,854$



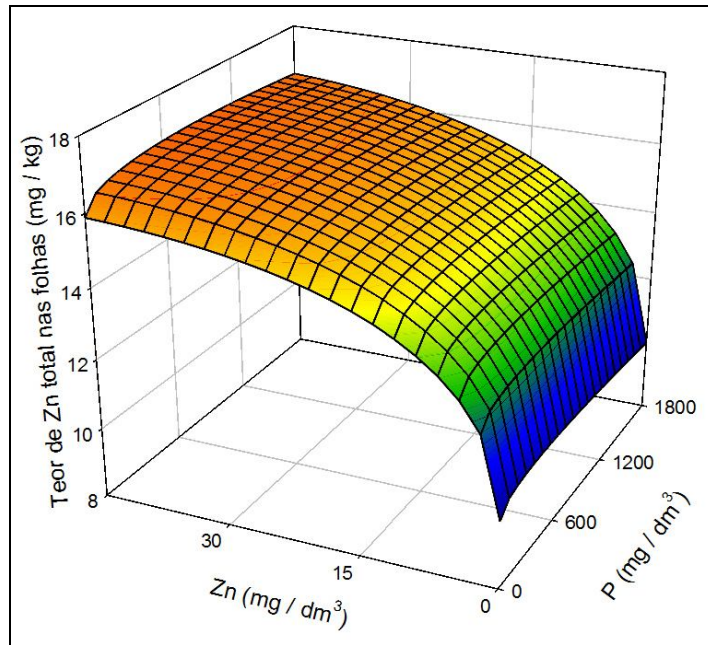
**Figura 8.** Altura das mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 7,49 + 0,570281** P^{0,5} - 0,009482**P - 0,048768 Zn + 0,000053* P Zn$ ;  $R^2 = 0,878$ .

### Teores de nutrientes nas plantas

Diagnoses nutricionais por meio de análises foliares têm a vantagem de utilizar a própria planta como extrator de nutrientes do solo, proporcionando inferências mais exatas de disponibilidades de nutrientes para uma cultura (Beaufils, 1973). Entretanto, a análise do teor foliar total de um nutriente possui algumas limitações, pois não distingue a fração do elemento fisiologicamente ativo daquela inativa, além de não apontar interações entre os nutrientes nas folhas.

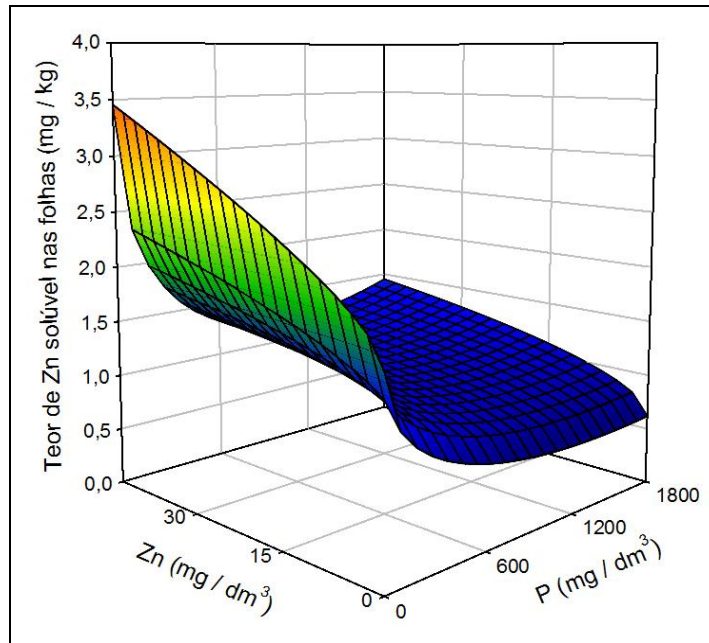
Segundo Fageria (2001), quando as interações entre nutrientes têm como efeito incremento na produção superior à soma de incrementos que existem em resposta a um nutriente aplicado de forma individual, diz-se que estas interações são sinérgicas; se contrário, diz-se que as interações são antagônicas.

Neste trabalho, os teores de Zn foliar total não variaram de forma expressiva com o incremento das doses de P adicionado ao solo, mas sim em função das doses de Zn (Figura 9).

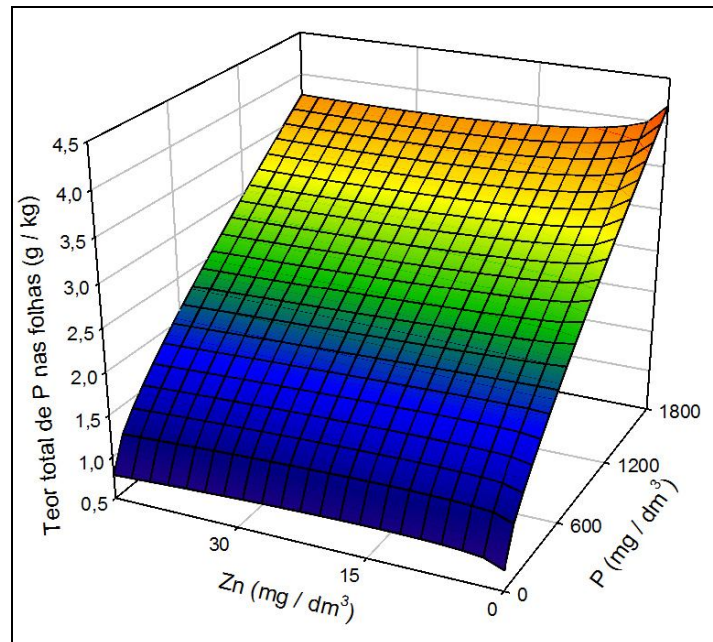


**Figura 9.** Teor de Zn total em folhas de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 9,91 + 0,046155* P^{0,5} - 0,001028 P + 1,66025** Zn^{0,5} - 0,114671 Zn + 0,002064** P^{0,5} Zn^{0,5}$ ;  $R^2 = 0,748$ .

Já os teores de Zn solúvel na matéria fresca das folhas (Figura 10) correlacionaram-se negativa e significativamente ( $r = -0,54$ ,  $p < 0,01$ ) com os teores de P foliar total (Figura 11), indicando antagonismo entre o Zn solúvel na matéria fresca das folhas e o P foliar total. Isso indica menor disponibilidade de Zn solúvel, também denominado de Zn fisiologicamente ativo, quando são detectados altos teores de P foliar total. Não foi significativa, porém positiva ( $r = 0,0102$ ), a correlação entre o teor de P foliar total e o teor de Zn foliar total.



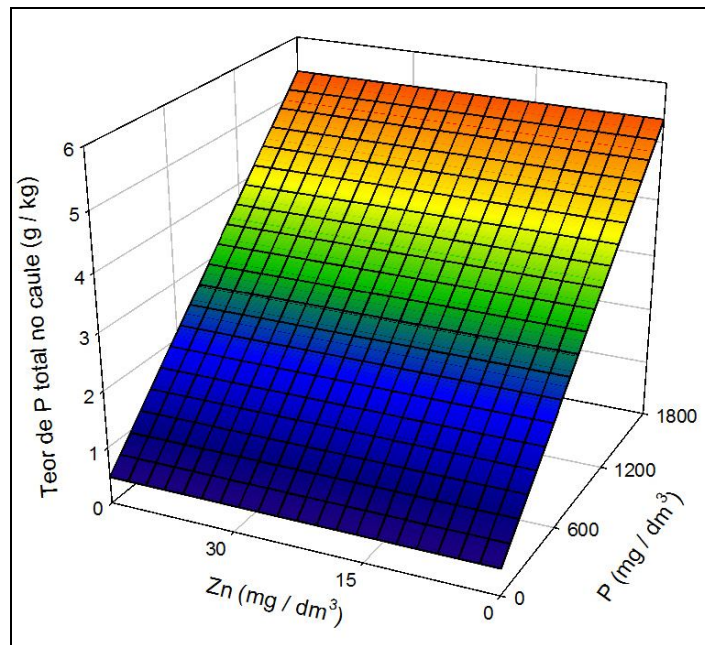
**Figura 10.** Teor de Zn solúvel na matéria fresca de folhas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 1,67 - 0,058317^{**} P^{0,5} + 0,000790^{**} P + 0,128614^{\circ} Zn^{0,5} + 0,020533^{**} Zn - 0,001819^{**} P^{0,5} Zn + 0,000031^{\circ} P Zn$ ;  $R^2 = 0,971$ .



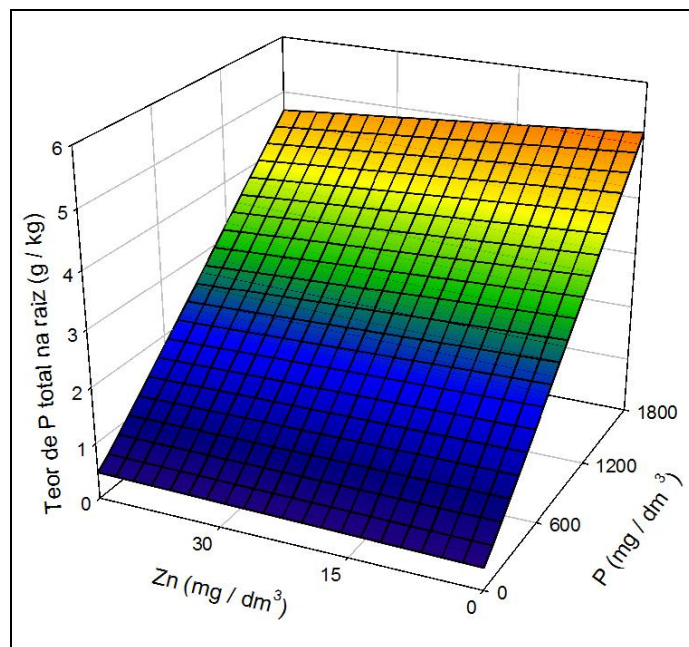
**Figura 11.** Teor total de P nas folhas de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 0,74 + 0,032718^{\circ} P^{0,5} + 0,001146^{**} P + 0,075437 Zn^{0,5} - 0,010294^{**} Zn + 0,000014^{\circ} P Zn - 0,000134^{*} P Zn^{0,5}$ ;  $R^2 = 0,987$ .

O Zn não tem a mesma atividade nas células quando a disponibilidade de P é alta. Logo, quando o teor foliar de P total é alto, é necessário maior teor de Zn solúvel para obter-se maior produção de matéria seca, o que pode ocorrer com aplicação de maiores doses de Zn (Figuras 1 e 2).

Os teores de P em folhas, caules e raízes do cafeeiro aumentaram em resposta ao aumento da dose de P adicionada ao solo (Figuras 11, 12 e 13). No entanto, a aplicação de Zn não teve efeito significativo nos teores de P do caule e da raiz (Figuras 12 e 13).

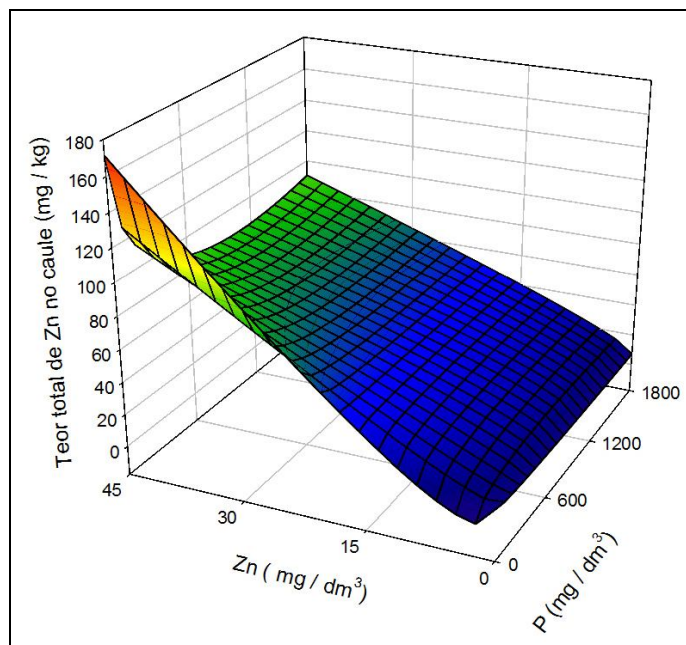


**Figura 12.** Teor de P total em caules de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 0,47 + 0,002732** P$ ;  $R^2 = 0,978$ .



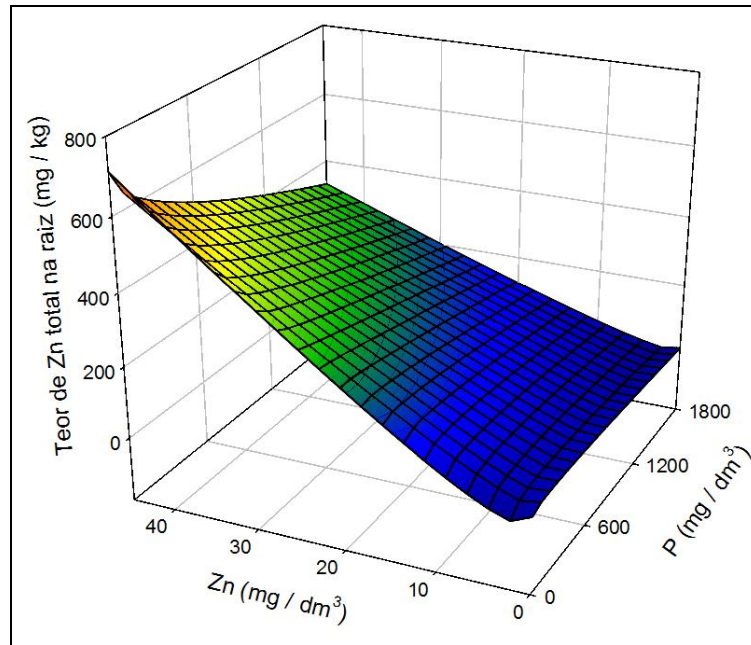
**Figura 13.** Teor de P total nas raízes de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 0,39 - 0,004668^{\circ} P^{0,5} + 0,002750^{**} P + 0,001847 Zn - 0,000007^{**} P Zn$ ;  $R^2 = 0,987$ .

Houve aumento no teor de Zn no caule com o aumento das doses de Zn em todas as doses de P, sendo esse efeito mais pronunciado nas menores doses de P (Figura 14). Isso se deve ao fato de ter ocorrido interação entre P e Zn no solo, fazendo com que, nas maiores doses de P, houvesse menor disponibilidade de Zn para as plantas e, conseqüentemente, menor acúmulo de Zn no caule. Segundo Martinez et al. (2005), o caule do cafeeiro apresenta-se como local de armazenamento de Zn, mesmo que temporário. Por isso, é comum encontrar elevados teores de Zn neste órgão quando se tem alta disponibilidade desse nutriente.



**Figura 14.** Teor total de Zn no caule de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 13,8936 - 0,2324** P^{0,5} + 0,0017** P - 17,0635** Zn^{0,5} + 6,0439** Zn + 1,4285** P^{0,5} Zn^{0,5} - 0,3272** P^{0,5} Zn - 0,0223** P Zn^{0,5} + 0,0051** P Zn$ ;  $R^2 = 0,975$ .

Nas raízes foram observadas respostas similares: aumento do teor de Zn com maiores aplicações de Zn, sendo os maiores teores encontrados nas menores doses de P (Figura 15). Pode estar ocorrendo acúmulo de Zn nas raízes como mecanismo de defesa da planta à toxidez (Foy et al., 1978).



**Figura 15.** Teor de Zn total nas raízes de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicados via solo.  $\hat{y} = 32,2531 + 1,6976^{**} P^{0,5} - 0,0523^{**} P - 49,8382^{**} Zn^{0,5} + 22,5467 Zn + 2,1024^{*} P^{0,5} Zn^{0,5} - 0,5004^{**} P^{0,5} Zn - 0,0332^{o} P Zn^{0,5} + 0,0049^{**} P Zn$ ;  $R^2 = 0,973$

### Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) nas plantas

O aumento da atividade de enzimas antioxidativas, como a SOD, por exemplo, indica uma resposta de defesa da planta ao maior estresse oxidativo. Embora existam na literatura relatos sobre a redução na atividade da SOD sob deficiência de Zn, neste estudo verificou-se que nas menores doses de Zn houve maior atividade da SOD total, o que possivelmente foi devido à absorção de Zn já existente no solo associado ao anterior estado nutricional das mudas, que estava adequado, quando da implantação do experimento.

Resultados semelhantes foram obtidos por Panda & Khan (2004) que, avaliando plantas de *Hydrilla verticillata* cultivadas *in vitro* com diferentes concentrações de Zn, verificaram que a atividade da SOD total foi reduzida com o aumento de Zn disponível.

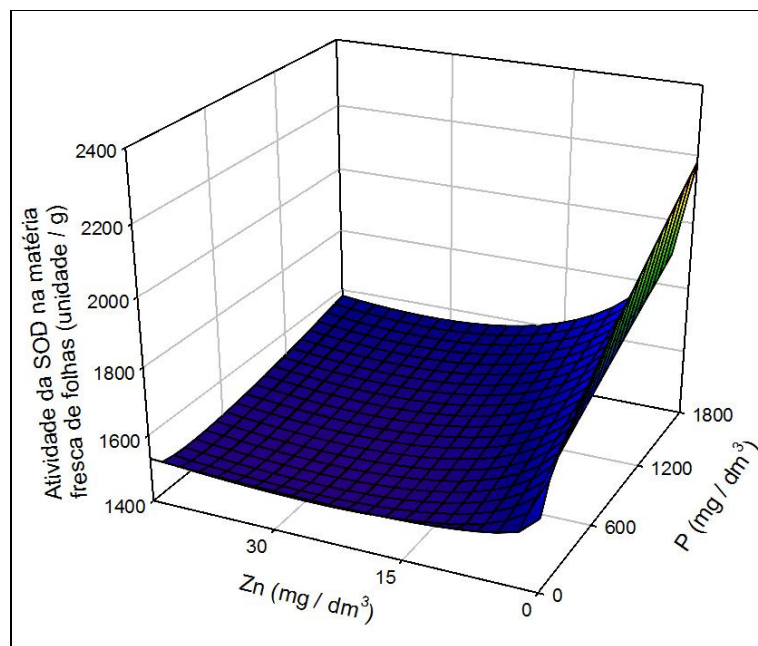
Outro aspecto relevante é que existem três isoformas desta enzima (Cu-Zn SOD + Mn-SOD + Fe-SOD) e, no presente trabalho, foi avaliada apenas a SOD total, não separando cada isoforma. Assim, a falta de sensibilidade das análises em



separar apenas a Cu-Zn-SOD, e correlacioná-la com aplicações de Zn, provavelmente resulta da não determinação dessa enzima.

A maior atividade de SOD total foi observada nas plantas supridas com as doses mais elevadas de P (Figura 16), o que pode estar relacionado com a maior atividade fotossintética (Han et al., 2007). Neste caso, para manter o metabolismo adequado, é necessária maior atividade da SOD.

Houve diminuição dos teores de Mn (Quadro 2) com o aumento das doses de Zn, essa diminuição pode explicar a diminuição da atividade da SOD total, posto que possivelmente a Mn-SOD teve sua síntese diminuída.



**Figura 16.** Atividade de SOD total (Cu-Zn-SOD + Mn-SOD + Fe-SOD) nas folhas de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo.  $\hat{y} = 1614,34 + 7,055^{**} P^{0,5} + 0,148^{**} P - 41,299^{**} Zn^{0,5} + 4,273 Zn - 4,738^{*} P^{0,5} Zn^{0,5} + 0,432^{*} P^{0,5} Zn + 0,014^{**} P Zn^{0,5} - 0,002^{**} P Zn$ ;  $R^2 = 0,883$ .

A diminuição da atividade da SOD com o aumento da dose de Zn pode ter sido ocasionada pela menor absorção de outros micronutrientes metálicos como Cu, Mn e Fe, o que promoveria a geração de EROs, fato observado em outros estudos (Foy et al., 1978; Soares et al., 2001; Wang et al., 2009).

O aumento da atividade da SOD total na presença de doses elevadas de P pode ter ocorrido também devido à alta afinidade do Fe para formar complexos com fosfatos no solo, dificultando, assim, a absorção de Fe pelas raízes das plantas

(Quadro 3). Além disso, parte deste micronutriente absorvido pode estar numa forma não ativa em razão dos altos teores foliares de P, como observado para o Zn no presente trabalho.

**Quadro 2.** Teores médios de Mn na matéria seca de folhas de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicados via solo

Doses de P	Doses de Zn				Média
	0	5	15	45	
mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>				
0	182,55	103,80	113,27	85,60	121,31
200	285,18	223,88	196,32	175,47	220,22
600	255,25	200,77	206,72	212,18	218,73
1.800	298,98	239,13	218,87	207,93	241,23
<b>Média</b>	255,49	191,895	183,795	170,295	

**Quadro 3.** Teores médios de Fe na matéria seca de raízes de mudas de cafeeiro em função de doses de P e Zn aplicadas via solo

Doses de P	Doses de Zn				Média
	0	5	15	45	
mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>				
0	3721,33	4593,90	2775,07	4130,30	3805,15
200	3577,00	3043,50	2512,50	3449,50	3145,63
600	3325,17	2188,33	1835,17	1993,00	2335,42
1.800	1218,83	1301,33	1170,00	2380,67	1517,71
<b>Média</b>	2960,58	2781,76	2073,19	2988,37	

Observou-se, ao final do experimento, que as plantas de cafeeiro cultivados em solo que receberam as maiores doses de P apresentaram sintomas visuais de deficiência de Fe, cloroses interveiais, nas folhas mais jovens (Figura 17). A mobilidade do Fe na planta pode ser reduzida por diversos fatores, dentre eles, elevado teor de P nos tecidos vegetais (Dechen et al., 2006).



**Figura 17.** Folhas novas de mudas de cafeeiro com sintomas típicos de deficiência de Fe em função das altas doses de P aplicadas via solo.

Como o Fe está envolvido em vários processos metabólicos, entre eles o processo fotossintético, a sua falta faz aumentar a produção de EROs e, conseqüentemente, gera maior atividade da SOD total, que se traduz em maior estresse oxidativo que o tecido sofre, o que ocorreu em condições de menores doses de Zn e altas doses de P, no presente trabalho. Por outro lado, alguns estudos têm demonstrado que a produção de EROs pode ser uma das causas da inativação da SOD (Casano et al., 1997; Panda & Patra, 2000).

Normalmente, os distúrbios nutricionais encontrados em plantas supridas com elevadas doses de P são atribuídos à deficiência induzida de micronutrientes, notadamente Zn e Fe (NCSU, 2003; Hawkins et al., 2008), como verificado neste trabalho. Além disso, outros nutrientes podem estar envolvidos (IPNI, 1999; Hawkins et al., 2008). Essa diversidade de fatores dificulta ainda mais o estudo da interação P x Zn.

Este trabalho mostrou que a deficiência de Zn pode ser induzida pela aplicação de P mesmo quando a absorção do micronutriente não é alterada, sendo a redução no teor de Zn solúvel uma das causas. Novas pesquisas também devem ser focadas em aspectos bem específicos, de forma a isolar um número maior de fatores e realizar análises mais direcionadas. Assim, paulatinamente vão sendo elucidados os mecanismos que fazem da interação entre P e Zn algo tão intrigante.

## CONCLUSÕES

O crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) foi influenciado pela interação entre P e Zn.

Altas doses de P adicionadas ao solo levaram ao aumento de P foliar, acarretando redução dos teores de Zn solúvel em folhas de mudas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí), havendo antagonismo entre os teores de Zn solúvel e de P total nas folhas das mudas de cafeeiro.

Doses crescentes de P e de Zn no solo resultaram em alteração da atividade da enzima SOD. Doses crescentes de Zn levaram à diminuição na atividade, enquanto maiores doses de P houve aumento da atividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.

AGBENIN, J. O. Phosphate-induced zinc retention in tropical semi-arid soil. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 49, p. 693-700. 1998.

ALVAREZ V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação de resultados de análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ V.; V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. p. 25-36.

ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., DIAS, L.E., OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p 27-33, 2000. (Boletim Informativo, 25)

ALVES, E.; CARDOSO, L. R.; SCAVRONI, J., L. R.; FERREIRA, L. C.; BOARO, C. S. F.; CATANEO, A. C. Avaliações fisiológicas e bioquímicas de plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*) cultivadas com níveis excessivos de nutrientes. **Planta Daninha**, v. 21, p.27-35, 2003.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 55, p. 373-399. 2004.

ASADA, K. The water eyele in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v. 50, p. 601-639, 1999.

BARZEGAR, A. R.; NADIAN, H.; HEIDARI, F.; HERBERT, S. J.; HASHEMI, A. M. Interaction of soil compaction, phosphorus and zinc in clover growth and accumulation of phosphorus. **Soil Till. Res.**, v. 87, p. 155-162, 2003.

BEAUFILS, E.R. Diagnostics and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration base on principles develop from research in plant nutrition. **Soil Science Bulletin**, v. 1. Pietermaritzburg, South Africa: University of Natal, 1973. 132 p.

BOWLER, C.; VAN MONTAGU, M.; INÉS, D. Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v. 43, p. 83-116, 1992.

BROADLEY, M. R.; WHITE, J. P.; HAMMOND, I.; ZELKO, A.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytol.** v. 173, p. 677–702, 1997.

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

CANTARUTTI , R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-850.

CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R.; MOUTA, E. R. Zinc adsorption in highly weathered soils. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 43, p. 131-139, 2008.

CASANO, L. M.; GOMES, L. D; LASCANO, H. R.; GONZALEZ, C.; TRIPPI, V. S. Inactivation and degradation of Cu and Zn – SOD by active oxygen species in wheat chloroplasts exposed to photo -oxidative stress. **Plant Cell Physiol.**, v. 38, p. 433-440, 1997.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Café**. 2010. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2cafe\\_10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2cafe_10.pdf)> Acesso em: 14 de maio de 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Estudos de Prospecção de Mercado-** safra 2009/2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/nupin/sugof.2009.10.pdf>> Acesso em: 10 de maio de 2010.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DEL RIO, L. A.; SANDALO, L. M.; CORPAS, F. J.; LÓPEZ-HUERTAS, E.; PALMA, J. M., PASTORI, G. M. Activated oxygen-mediated metabolic functions of leaf peroxisomes. **Physiol. Plant.**, v. 104, p.673-680, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K. Nutrient interactions in crop plants. **J. Plant Nut.**, v. 24, p. 1260-1290, 2001.

FOY, C. D; CHANEY, R. L; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v. 29, p. 511-566, 1978.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. **New Phytol.** v.146, p. 359-388, 2000.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiol.**, v. 59, p. 309-314, 1977.

HACISALIHOGU, G.; HART, J. J.; WANG, Y.; CAKMAK, I.; KOCHIAN, V. Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. **Plant physiol.**, v. 131, p. 595-602, 2003.

HAN, S. F.; DENG, R. L.; XU, H. R.; CAO, Y. F.; WANG, X. Y.; XIAO, K. Photosynthesis and active-oxygen-scavenging enzyme activities in rice varieties with different phosphorus efficiency under phosphorus stress. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**, v. 18, n. 11, p. 2462-2467, 2007.

HANSCH, R.; MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Cur. Opin. Plant Biol.**, v. 12, p. 259-266, 2009.

HAWKINS, H.-J.; HETTASCH, H.; MESJASZ-PRZYBYLOWICZ, J.; PRZYBYLOWICZ, W.; CRAMER, M. D. Phosphorus toxicity in the Proteaceae: A problem in post-agricultural lands. **Scientia Horticulturae**, v. 117, n. 4, p. 357-365, 2008.

IMTIAZ, M.; ALLOWAY, B. J.; MEMON, M. Y.; KHAN, P.; SIDDIQUI, S.; ASLAM, M.; SHAH, S. K. H. Zinc tolerance in wheat cultivars as affected by varying levels of phosphorus. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 37, p. 1689-1702, 2006.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE – IPNI. Phosphorus interactions with other nutrients. **Better Crops**, v. 83, n. 1, 1999. Disponível em: <[http://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf/\\$webindex/FDCFCFDEAAB0D82F852568EF0067CCC5/\\$file/99-1p11.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf/$webindex/FDCFCFDEAAB0D82F852568EF0067CCC5/$file/99-1p11.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2011.

IORIO, A. F.; GORGOSCHIDE, L.; RENDINA, A. Effect of phosphorus, copper and zinc addition on the phosphorus/copper and phosphorus/zinc interactions in lettuce. **J. Plant Nutrit.**, v. 19, p. 481-491. 1996.

LI, H.-Y.; ZHU, Y.-G.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Phosphorus-zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. **J. Plant Nut.**, v. 26, p. 1085-1099, 2003.



LOPEZ-MILLAN, A. F.; ELLIS, D. R.; GRUSAK, M. A. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and *raz* mutant plants. **Plant Sci.**, v. 168, p. 1015-1022, 2005.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação.** São Paulo: Ceres, 1992.

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

MARQUES, R. **Efeito do fósforo e zinco na nutrição e crescimento de porta-enxertos de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.).** 1990. 110 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

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

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B. de; VENEGAS, V. H. A; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentração de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; ZABINIS, A. V.; FRANCO, I. A. L.; NOVAIS, R. F. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ci. Rural**, v. 35, p. 491-497, 2005.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNÁNDEZ, D. R. **Cultura de café no Brasil - Novo Manual de Recomendações.** MAPA - SARC/PROCAFÉ - SPAE/DECAF. Rio de Janeiro, RJ e Varginha, MG, 2005. 438 p.

MORAGHAN, J. T.; MASCAGNI J. R., H. J. Environmental and soil factors affecting micronutrient, deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (eds.) **Micronutrients in agriculture**. Madison, SSSA, 1991. p. 371-426.

NOBEL, P. S.; QUERO, E.; LINARES, H. Root versus shoot biomass: responses to water, nitrogen and phosphorus applications for *Agave lechuguilla*. **Bot. Gaz.**, v. 150, n. 4, p. 411-416, 1989.

NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY – NCSU. Action mode, deficiency and toxicity symptoms of the 17 essential nutrients. In: **Nutrient deficiency**. 2003. Disponível em: <[http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/consumer/quickref/fertilizer/nutri\\_def.html](http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/consumer/quickref/fertilizer/nutri_def.html)>. Acesso em: 10 jan. 2011.

OLIVEIRA, M. F. G.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p.609-615, 1999.

PANDA, S. K.; KHAN, M. H. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L. under abiotic stress. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 16, p. 115-118, 2004.

PANDA, S. K.; PATRA, H. K.. Does chromium (III) produce oxidative damage in excised wheat leaves? **J. Plant. Biol.**, v. 27, p. 105-110, 2000.

PANDEY, N.; PATHAK, G. C.; SINGH, A. K.; SHARMA, C. P. Enzymic changes in response to zinc nutrition. **J. Plant Physiol.**, v. 159, p. 1151-1153, 2002.

PARKER, D. R.; AGUILERA, J. J.; THOMASON, D. N. Zinc-phosphorus interactions in two cultivars of tomato (*Lycopersion esculentum* L.) grown in chelator-buffered nutrient solution. **Plant Soil**, v. 143, p. 163-177. 2002.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. S.; GEBRIM, F.O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 859-856, 2006.

POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; SILVA, E. B.; BASTOS, A. R. R. & NOGUEIRA, F.D. Adubação foliar de sulfato de zinco na produtividade e teores foliares de zinco e fósforo de cafeeiros arábica. *Acta Scientiarum*, v. 31, p. 49-57, 2009.

QADAR, A. Selecting Rice genotypes tolerant to zinc deficiency and sodicity stress. I. Differences in zinc, iron, manganese, copper, phosphorus concentrations, and phosphorus/zinc ratio in their leaves. **J. Plant Nutr.**, v. 25, n. 3, p. 457-473, 2002.

ROBSON, A. D. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: \_\_\_\_ (ed.) **Zinc in soils and plants**, Perth: Klumer Academic Publisher, 1993. p. 119-134.

SOARES, C. R. F.S.; GRAZZIOTTI, P. H.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S. Toxidez de Zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, p. 339-348. 2001.

SOUZA, C. A. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A.; NOGUEIRA, F. D. Efeitos de doses de zinco via solo em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ci. Agrotec.**, v.25, p.890-899, 2001.

WANG, C.; ZHANG, S. H.; WANG, P. F.; HOU, J.; ZHANG, W. J.; LI, W.; LIN, Z. P. The effect of excess Zn on mineral nutrition and antioxidative response in rapeseed seedlings. **Chemosphere**, v. 75, p. 1468-1476. 2009.

YU, Q.; OSBORNE, L. D.; RENGEL, Z. Increased tolerance to Mn deficiency in transgenic tobacco overproducing superoxide dismutase. **Ann. Bot.**, v. 84, p. 543-547. 1999.

# **ANEXOS**

**Quadro 1A – Caracterização química dos solos ao final do experimento**

Dose		Característica													
P	Zn	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t	T	V	m	P-rem	Zn
mg / dm <sup>3</sup>		H <sub>2</sub> O	mg/dm <sup>3</sup>		cmol/dm <sup>3</sup>						%		mg/L	mg/dm <sup>3</sup>	
0	0	4,83	0,50	328,20	2,23	0,91	0,00	1,76	3,98	3,98	5,74	68,92	0,00	33,76	1,55
0	5	4,88	0,50	202,00	1,64	0,62	0,00	1,70	2,78	2,78	4,48	61,90	0,00	34,42	6,09
0	15	4,95	0,48	243,60	1,86	0,77	0,00	1,84	3,26	3,26	5,10	63,74	0,00	34,16	14,41
0	45	5,05	0,60	191,20	1,47	0,61	0,02	1,64	2,57	2,59	4,21	61,42	0,82	30,88	39,93
200	0	5,61	59,20	122,60	1,95	0,56	0,00	2,20	2,83	2,83	5,03	56,04	0,00	38,38	1,55
200	5	5,35	61,82	169,60	2,19	0,73	0,00	2,18	3,36	3,36	5,54	60,42	0,00	41,32	5,89
200	15	5,49	66,38	159,60	1,99	0,63	0,00	2,06	3,03	3,03	5,09	59,54	0,00	40,41	14,52
200	45	5,33	55,58	184,40	1,92	0,64	0,00	2,10	3,03	3,03	5,13	59,00	0,00	40,63	46,06
600	0	5,53	353,82	168,80	2,80	0,69	0,00	2,62	3,92	3,92	6,54	59,92	0,00	48,45	1,50
600	5	5,65	293,94	121,20	2,71	0,66	0,00	2,32	3,68	3,68	6,00	61,18	0,00	48,73	5,37
600	15	5,53	274,10	137,60	3,16	0,87	0,00	2,68	4,38	4,38	7,06	61,94	0,00	48,50	16,31
600	45	5,50	332,86	145,60	2,81	0,73	0,00	2,72	3,91	3,91	6,63	58,90	0,00	50,68	46,04
1800	0	5,34	1251,02	139,40	4,78	0,99	0,12	4,62	6,13	6,25	10,75	57,00	1,96	60,86	1,63
1800	5	5,34	1419,94	149,60	5,24	1,10	0,29	4,68	6,71	7,00	11,39	58,88	4,16	62,55	6,72
1800	15	5,27	1296,15	145,75	5,09	1,01	0,17	3,93	6,48	6,65	10,40	63,05	2,45	61,30	18,15
1800	45	5,39	1251,64	131,20	4,94	0,94	0,18	4,46	6,22	6,40	10,68	58,10	2,82	61,22	50,69

**Tabela 2A.** Resumo da análise de variância para matéria seca (foliar, caule, raiz e total)

FV	GL	Quadrado Médio			
		MSF	MSC	MSR	MST
<b>Bloco</b>	2	0,0358 <sup>ns</sup>	0,0171 *	0,0118 <sup>ns</sup>	0,1720 <sup>ns</sup>
<b>DP</b>	3	8,8275**	0,4807**	0,6369**	19,5780**
<b>DZn</b>	3	0,1806**	0,0036 <sup>ns</sup>	0,0153 <sup>ns</sup>	0,1530 <sup>ns</sup>
<b>DPxZn</b>	9	0,5740**	0,0574**	0,0699**	1,3880**
<b>Erro</b>	32	0,038	0,0051	0,0095	0,1060
<b>CV (%)</b>		13,27	19,35	23,71	14,42

ns- não significativo; \*\* e \* - significativo a 1 % e 5 % , respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 3A.** Análise de variância para os teores de P total foliar (Pfol), P total no caule (Pcaule), P total na raiz (Praiz), Zn total foliar (Znfol), Zn total no caule (Zncaule), Zn total na raiz (Znraiz) e Zn solúvel (Znsol) em plantas de cafeeiro

FV	GL	Quadrado Médio						
		Pfol	Pcaule	Praiz	Znfol	Zncaule	Znraiz	Znsol
<b>Bloco</b>	2	0,012 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	0,0114 <sup>ns</sup>	0,229 <sup>ns</sup>	14,300 <sup>ns</sup>	474 <sup>ns</sup>	0,458*
<b>DP</b>	3	21,509**	58,785**	50,336**	3,711 <sup>ns</sup>	713,900**	46501**	5,150 <sup>ns</sup>
<b>DZn</b>	3	0,041 <sup>ns</sup>	0,141 <sup>ns</sup>	0,0867 <sup>ns</sup>	87,743**	28479,600**	677704**	2,416**
<b>DPxZn</b>	9	0,063 <sup>ns</sup>	0,197**	0,1573**	8,840**	1484,700**	21700**	0,194 <sup>ns</sup>
<b>Erro</b>	32	0,046	0,056	0,0423	1,481	20,000	465	0,134
<b>CV (%)</b>		10,05	10,54	10,19	8,85	8,90	11,44	24,93

ns- não significativo; \*\* e \* - significativo a 1 % e 5 %, respectivamente, pelo teste F.



**Tabela 4A.** Resumo da análise de variância para número de folhas (NFOL), número de nós (NNOS), altura (ALT) e comprimento médio do entrenó (CMNOS)

FV	GL	Quadrado Médio			
		NFOL	NNOS	ALT	CMNOS
<b>Bloco</b>	2	1,181 <sup>ns</sup>	0,156 <sup>ns</sup>	10,800*	0,146 <sup>ns</sup>
<b>DP</b>	3	193,776**	13,587**	205,190**	1,626**
<b>DZn</b>	3	0,605 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>	1,598 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>
<b>DPxZn</b>	9	1,877*	0,282 <sup>ns</sup>	11,595 <sup>ns</sup>	0,110*
<b>Erro</b>	32	0,727	0,179	2,899	0,046
<b>CV (%)</b>	2	9,11	6,00	13,24	12,06

ns- não significativo; \*\* e \* - significativo a 1 % e 5 %, respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 5A.** Resumo da análise de variância foliar para superóxido dismutase (SOD)

FV	GL	Quadrado Médio
		SOD
<b>Bloco</b>	4	894 <sup>ns</sup>
<b>DP</b>	3	233077**
<b>DZn</b>	3	524848**
<b>DPxZn</b>	9	74901**
<b>Erro</b>	64	4802
<b>CV (%)</b>		4,26

ns- não significativo e \*\* - significativo a 1 % pelo teste F.

**Tabela 6A.** Resumo da análise de variância para matéria seca (foliar, caule, raiz e total)

FV	GL	Quadrado Médio			
		MSF	MSC	MSR	MST
<b>Bloco</b>	2	0,0358 <sup>ns</sup>	0,0171 *	0,0118 <sup>ns</sup>	0,1720 <sup>ns</sup>
<b>DP</b>	3	8,8275**	0,4807**	0,6369**	19,5780**
<b>DZn</b>	3	0,1806**	0,0036 <sup>ns</sup>	0,0153 <sup>ns</sup>	0,1530 <sup>ns</sup>
<b>DPxZn</b>	9	0,5740**	0,0574**	0,0699**	1,3880**
<b>Erro</b>	32	0,038	0,0051	0,0095	0,1060
<b>CV (%)</b>		13,27	19,35	23,71	14,42

ns- não significativo; \*\* e \* - significativo a 1 % e 5 % , respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 7A.** Resumo da análise de variância para número de folhas (NFOL), número de nós (NNOS), altura (ALT) e comprimento médio do entrenó (CMNOS)

FV	GL	Quadrado Médio			
		NFOL	NNOS	ALT	CMNOS
<b>Bloco</b>	2	1,181 <sup>ns</sup>	0,156 <sup>ns</sup>	10,800*	0,146 <sup>ns</sup>
<b>DP</b>	3	193,776**	13,587**	205,190**	1,626**
<b>DZn</b>	3	0,605 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>	1,598 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>
<b>DPxZn</b>	9	1,877*	0,282 <sup>ns</sup>	11,595 <sup>ns</sup>	0,110*
<b>Erro</b>	32	0,727	0,179	2,899	0,046
<b>CV (%)</b>	2	9,11	6,00	13,24	12,06

ns- não significativo; \*\* e \* - significativo a 1 % e 5 %, respectivamente, pelo teste F.