

## Adubação foliar de sulfato de zinco na produtividade e teores foliares de zinco e fósforo de cafeeiros arábica

Adélia Aziz Alexandre Pozza<sup>1\*</sup>, Paulo Tácito Gontijo Guimarães<sup>2</sup>, Enilson de Barros Silva<sup>3</sup>, Ana Rosa Ribeiro Bastos<sup>1</sup> e Francisco Dias Nogueira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Cx. Postal 3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Centro Tecnológico do Sul de Minas, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: alana@ufla.br

**RESUMO.** Para avaliar a dose e a forma de aplicação de sulfato de zinco foliar no crescimento e produtividade do cafeeiro Mundo Novo, instalou-se um experimento de campo em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, na Fazenda Experimental da Epamig em São Sebastião do Paraíso. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, com cinco repetições e parcela de 30 plantas com seis úteis. As quantidades de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>) foram aplicadas nas concentrações de 0; 0,5; 1,0 e 1,5%, testadas em duas ou quatro aplicações por ano agrícola. Foram avaliados por oito anos os teores foliares de P e Zn e as produções. Concluiu-se que o cafeeiro respondeu positivamente às aplicações de doses crescentes de ZnSO<sub>4</sub> via foliar, aumentando a produção e também os teores foliares de Zn. Maior número de pulverizações de ZnSO<sub>4</sub> em menores concentrações foi superior aos tratamentos com menor número de pulverizações mais concentradas, promovendo maiores produções. As produções máximas foram obtidas com doses de 10,8 e 12,6 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>, para duas e quatro aplicações anuais, respectivamente. Sugerem-se valores entre 10 e 28 mg kg<sup>-1</sup> como faixa crítica foliar de Zn, e valores de 100 a 150 para relação P/Zn.

**Palavras-chave:** produtividade, *Coffea arábica*, doses de zinco, nível crítico, relação P/Zn.

**ABSTRACT. Zinc sulfate leaf fertilizing in the yield and zinc and phosphorus leaf contents of the Arabic coffee plant.** Aiming to evaluate the dose and application schedule of foliar Zn-sulfate spraying in growing and yield of Arabic coffee Mundo Novo, a field experiment was set up on Distroferric Red Latosol, at the Experimental Station of the EPAMIG in São Sebastião do Paraíso. The statistical design used was randomized blocks in a 4 x 2 factorial scheme with five replications and a 30-plant plot with six central valid plants. Zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>) was sprayed under 4 concentrations 0; 0.5; 1.0 and 1.5%, two or four applications per agricultural year. Phosphorus and zinc leaf levels were evaluated for eight years and the yields. It was possible to conclude that there is a positive response to the increasing concentrations of ZnSO<sub>4</sub> applied on the leaves in terms of yield, and to Zn levels in the leaves. Four low concentrations sprayings promoted higher yields than two high concentrations. The highest yields were achieved with 10.8 and 12.6 kg ha<sup>-1</sup> of ZnSO<sub>4</sub>, for 2 and 4 yearly applications, respectively. It is suggested as a critical range for the Zn leaves values between 10 and 28 mg kg<sup>-1</sup> and for P/Zn ratio, between 100 and 150.

**Key words:** yield, *Coffea arábica*, zinc dosis, critical level, P/Zn ratio.

### Introdução

Em condições tropicais, as deficiências de Zn são as mais frequentes, e há escassez de conhecimento sobre doses, fontes do nutriente e modos eficientes de aplicação, razões pelas quais este micronutriente tem limitado a produtividade da cultura do sorgo no Brasil (PRADO et al., 2008). Embora sejam exigidos em pequenas quantidades, os efeitos dos micronutrientes no crescimento e na produtividade do cafeeiro são expressivos, e a falta de qualquer um deles pode resultar em perdas significativas de produção

(FERREIRA et al., 2001). O zinco (Zn) é um dos micronutrientes mais importantes para a nutrição do cafeeiro. No Brasil, a sua deficiência foi relatada pela primeira vez nesta cultura, no ano de 1953, por Franco e Mendes (1954). Atualmente, a carência de Zn nos solos brasileiros é das mais generalizadas (MATIELLO et al., 2002) daí a necessidade de sua adição, visando maximizar a produção (TEIXEIRA et al., 2008). A deficiência pode manifestar-se por sintomas moderados, como a clorose e folhas menores, até a forma mais intensa, quando as plantas

têm seu crescimento e sua produção comprometidos (MALAVOLTA et al., 1997).

Evidências indicam a influência do Zn na permeabilidade das membranas e como estabilizador de componentes celulares (DECHEN et al., 1991). Pinton et al. (1993) constataram que o Zn desempenha importante papel na manutenção da integridade e seletividade das membranas da raiz. Na sua ausência, a permeabilidade da plasmalema das células radiculares é aumentada para a absorção do fósforo (P), sendo apontada como uma das justificativas mais prováveis para a ocorrência de deficiência de Zn induzida por P na planta.

Quanto à interação entre os nutrientes, relações de Zn com o cobre (BORKERT et al., 1998), cálcio (DAVIS; PARKER, 1993), boro (SWIETLIK, 1995), nitrogênio (MARSCHNER, 1995) e fósforo (GRANT; BAILEY, 1993) foram relatadas em estudos de nutrição de plantas. Dentre essas, a interação entre P e Zn é a mais importante para o manejo de solos tropicais, onde é comum utilizar altas doses de P em solos com baixa disponibilidade natural de P e Zn (FERREIRA et al., 2001).

O conceito de 'nível crítico' é bastante utilizado no diagnóstico do estado nutricional das plantas. Como na prática da adubação o objetivo final não é a maior produção física, mas o maior lucro, a definição do nível crítico fisiológico-econômico, em que "a faixa de teores do elemento na folha abaixo da qual a colheita cai e acima da qual a adubação não é mais econômica", tem sido a mais aceita (MALAVOLTA et al., 1997). Entretanto, a produção de máxima eficiência econômica situa-se pouco abaixo da produção física máxima. Pesquisadores têm utilizado teores dos nutrientes correspondentes a 90% da produção máxima (HOFFMANN et al., 1995).

Pela baixa disponibilidade de Zn nos solos sob cafeeiros, sua aplicação é uma necessidade. As respostas à aplicação foliar dependem de processos de penetração do nutriente através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais (RODRIGUES et al., 1997). Em função disso, a absorção de Zn pelas folhas vai depender de vários fatores como: as características das folhas, particularmente das cutículas que as recobrem; as técnicas de pulverizações; as condições climáticas; as características químicas da solução aplicada e, ainda, o estado iônico interno da planta (PEARSON; RENGEL, 1994; MARTINEZ et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de doses e número de aplicações de  $ZnSO_4$  via foliar, por oito anos, na produtividade, no teor foliar de Zn e na relação P/Zn.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido durante oito anos na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em São Sebastião do Paraíso, Estado de Minas Gerais. Foi implantado em 15 de novembro de 1981, em lavoura com oito anos de idade, em Latossolo Vermelho Distroférico (LVd), e conduzido até agosto de 1989, após a última colheita.

As covas possuíam duas plantas, intercaladas com covas contendo uma planta, perfazendo 1.250 covas  $ha^{-1}$ . Por ocasião da instalação do experimento, as plantas da cultivar Mundo Novo IAC 379-19, espaçadas em 4,0 x 2,0 m, apresentavam sintomas generalizados de deficiência de Zn.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 com cinco repetições. A parcela experimental constituiu-se de três linhas de dez covas num total de 30 covas por parcela. A parcela útil foi formada pelas seis plantas centrais, e as demais covas foram consideradas como bordadura. O  $ZnSO_4$  foi aplicado nas concentrações de 0; 0,5; 1,0 e 1,5% para as duas alternativas de épocas de aplicação. As épocas de aplicação foram nos meses de setembro e janeiro, no caso de duas aplicações anuais, e setembro, novembro, janeiro e março, no caso de quatro aplicações anuais. As aplicações corresponderam às doses de 0; 6,2; 12,4 e 18,2  $kg\ ha^{-1}$  para duas e 0; 12,4; 24,8 e 37,2  $kg\ ha^{-1}$  de sulfato de zinco para quatro pulverizações.

No decorrer do período experimental, foram realizados os tratamentos culturais e fitossanitários comuns à lavoura cafeeira em todo o experimento. As adubações com N, P, K e B e a calagem foram feitas de acordo com os resultados das análises de solo e conforme recomendação da CFSMG (1978).

As colheitas foram realizadas quando os frutos apresentavam mais de 90% no estágio 'cereja', e a produção foi avaliada determinando-se o peso de frutos de campo colhidos. Da produção das seis plantas úteis, retirou-se uma amostra com peso de 2,0 kg, que foi secada até 11% de umidade. Desta amostra, após o beneficiamento, retirando casca e pergaminho, pesou-se a amostra de grãos resultantes e determinou-se o rendimento de grãos; transformou-se, a seguir, a produção colhida em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare. Como o  $ZnSO_4$  se trata de um micronutriente, a quantidade necessária deste sal é muito pequena para obter teores acima de 90% da produção máxima, não afetando o custo; portanto, adotou-se a produção máxima para obtenção dos níveis críticos ou valores de referência.

Nos anos agrícolas em que os efeitos dos tratamentos na produtividade do cafeeiro foram

significativos para duas e/ou quatro aplicações de  $ZnSO_4$ , fizeram-se as regressões entre doses de  $ZnSO_4$  aplicadas e a produtividade (Tabela 2) e calcularam-se as doses recomendáveis para a produtividade máxima.

Com as doses recomendáveis estimadas, obtiveram-se os valores de referência de Zn foliar pela substituição destas doses nas equações lineares ajustadas entre o teor foliar de Zn e as doses de  $ZnSO_4$  (Tabela 3). No mês de março, 30 dias após a última aplicação dos tratamentos, realizaram-se amostragens de folhas do 3º e 4º par, nos dois lados do renque da parcela útil, perfazendo um total de 100 folhas por parcela, conforme recomendação proposta por Malavolta (1980).

As folhas colhidas foram lavadas e acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação de ar a 70°C até atingirem peso constante, quando foram moídas e levadas ao laboratório para análises químicas. Os teores de P e Zn nas folhas foram determinados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados os teores totais de P, por colorimetria, e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados de produção e teores foliares de Zn e P nas folhas foram submetidos a análises de variância. Foi realizada regressão polinomial para a média de oito produções, utilizando-se as doses de  $ZnSO_4$ , em  $kg\ ha^{-1}$ , para cada número de aplicações como variável da dose de Zn aplicada.

Utilizou-se, nas análises estatísticas, o programa SAEG, e adotaram-se, na interpretação das análises dos dados, os níveis de significância de 5% e 1%. Nos anos agrícolas de alta produtividade em que os efeitos dos tratamentos na produção foram significativos para duas e quatro aplicações de  $ZnSO_4$ , realizou-se a regressão entre as doses de sulfato de zinco aplicadas, a produção e os teores foliares de Zn do mesmo ano, para cada pulverização.

**Tabela 1.** Valores médios dos biênios de produção do cafeeiro em sacas  $ha^{-1}$ , após a aplicação dos tratamentos, com os respectivos percentuais (%) em relação à testemunha.

Tratamentos	Biênios de produtividade							
	82/83	%	84/85	%	86/87	%	88/89	%
1 - Test. (sem Zn)	27,5 c	100,0	24,2 c	100,0	28,3a	100,0	35,2a	100,0
2 - 2 aplic. $ZnSO_4$ a 0,5%	33,7 b	122,6	35,9ab	148,5	32,9a	116,3	37,7a	107,1
3 - 4 aplic. $ZnSO_4$ a 0,5%	40,6a	147,6	38,9a	161,2	33,5a	118,3	40,3a	114,4
4 - 2 aplic. $ZnSO_4$ a 1,0%	33,3 b	121,0	37,2a	153,8	32,8a	116,1	38,8a	110,1
5 - 4 aplic. $ZnSO_4$ a 1,0%	39,8a	144,7	35,1ab	145,1	32,2a	113,9	34,5a	97,9
6 - 2 aplic. $ZnSO_4$ a 1,5%	34,1 b	123,8	35,2ab	145,6	31,5a	111,4	38,6a	109,8
7 - 4 aplic. $ZnSO_4$ a 1,5%	32,2 b	116,8	31,5 b	130,2	33,3a	117,7	37,6a	106,9
C.V.(%)	9,67		10,27		8,92		10,62	
Média Geral	34,61		33,98		32,09		37,52	

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

## Resultados e discussão

### Efeito na produtividade dos biênios, na produção e nos teores foliares de Zn

No primeiro biênio de produção (1982/83), as aplicações de quatro pulverizações de  $ZnSO_4$  a 0,5% (tratamento 3) e a 1,0% (tratamento 5) não diferiram entre si (Tabela 1) e corresponderam aos aumentos de 13,1 e 12,3 sacas  $ha^{-1}$  na produtividade, respectivamente. Observou-se também que maiores concentrações da calda reduziram a produção.

No biênio de 1984/85, os tratamentos 3 (quatro aplicações de  $ZnSO_4$  a 0,5%) e 4 (duas aplicações de  $ZnSO_4$  a 1,0%) não diferiram entre si e foram superiores à testemunha, com aumento de 61,2 e 53,8%, respectivamente. Este aumento correspondeu a 14,8 e 13,0 sacas  $ha^{-1}$ , respectivamente. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre os tratamentos nos biênios de 86/87 e 88/89, os tratamentos 3 e 4 mantiveram-se ligeiramente superiores aos outros (Tabela 1).

No geral, concentrações maiores que 1% (2,8  $kg\ ha^{-1}$  de Zn ou 12,4  $kg\ ha^{-1}$  de  $ZnSO_4$ ) reduziram a produção, mas ainda assim foram superiores à testemunha sem Zn, confirmando a carência de Zn e as respostas existentes a este nutriente para o cafeeiro (MATIELLO et al., 2002).

Da mesma forma, Souza et al. (2001), observaram redução na produtividade de mudas de três cultivares de cafeeiro (Catuaí, Icatu e Mundo Novo) devido ao aumento no suprimento de zinco (0, 5, 10, 20 e 40  $mg\ dm^{-3}$ ). Eles concluíram que as doses de zinco mais elevadas diminuíram a produção de matéria seca das mudas de cafeeiro nas três cultivares, mostrando que as quantidades de Zn acumuladas atingiram níveis tóxicos para essas plantas.

O efeito da aplicação de zinco em sementes na nutrição e no crescimento inicial foi observado em plantas de sorgo.

Cinco doses (0; 14,3; 28,6; 57,2 e 114,4 g kg<sup>-1</sup> de semente) e duas fontes de zinco, o sulfato (22% de Zn) e o óxido (50% de Zn) foram utilizadas. A aplicação de 14 g Zn kg<sup>-1</sup> de sementes, na forma de óxido, proporcionou adequado crescimento inicial do sorgo cv. BRS 304.

A fonte sulfato promoveu maior absorção do Zn pelas plantas, atingindo, na maior dose, alto teor do nutriente na parte aérea (> 4170 mg kg<sup>-1</sup>) e o desenvolvimento dos sintomas característicos de fitotoxicidade.

As estimativas de produção e as doses recomendáveis (DR) foram obtidas e apresentadas na Tabela 2. No ano agrícola de 1981/82, ano em que se aplicaram uma e três pulverizações de ZnSO<sub>4</sub> (por esta diferença no tratamento, este ano agrícola, não foi descrito na Tabela 1), quando as doses crescentes de sulfato foram aplicadas em uma única pulverização (novembro), a produtividade máxima de 24,8 sacas de 60 kg de café beneficiado ha<sup>-1</sup> foi estimada com a dose de 3,4 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> (Tabela 2). Para esta produção máxima, o teor de Zn na matéria seca das folhas (VR) foi de 21,4 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). No mesmo ano agrícola, para o tratamento de três pulverizações (novembro, janeiro e março), com a aplicação de doses crescentes de sulfato de zinco, a produtividade máxima de 26,8 sacas de 60 kg de café beneficiado ha<sup>-1</sup> foi estimada com a quantidade estimada de 9,5 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> (Tabela 2). Esta produção máxima correspondeu ao teor foliar estimado de 24,3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn nas folhas (Tabela 3).

No ano agrícola de 1983/1984, a produção máxima (32,5 sacas ha<sup>-1</sup>) foi estimada com 10,4 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> (Tabela 2) e correspondeu ao teor foliar estimado de 12,1 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (Tabela 3) para duas pulverizações. Para quatro pulverizações, a produção máxima (21 sacas ha<sup>-1</sup>) foi estimada com 9,6 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco (Tabela 2) e correspondeu ao teor foliar estimado de 27,5 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (Tabela 3).

No ano agrícola de 1984/1985, de alta produtividade, o efeito das doses aplicadas foi significativo apenas quando foram realizadas quatro pulverizações. A produção máxima de 55,8 sacas ha<sup>-1</sup> foi estimada com a dose de 14,9 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco (Tabela 2) e correspondeu ao teor foliar estimado de 12,4 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (Tabela 3).

No ano agrícola de 1986/87, também de alta produtividade, o efeito das doses aplicadas foi significativo para ambas as pulverizações. As produções máximas de 65,6 e de 66,9 sacas beneficiadas ha<sup>-1</sup> foram estimadas com as doses de 7,8 e 16,4 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> (Tabela 2) e corresponderam aos teores estimados de 10,8 e de 16,4 mg kg<sup>-1</sup> de Zn nas folhas (Tabela 3), para duas e para quatro pulverizações, respectivamente. Portanto, os teores foliares estimados de Zn no cafeeiro foram próximos aos obtidos por Guimarães et al. (1983), os quais observaram que a elevação no teor foliar de 7 para 15 mg kg<sup>-1</sup>, com a aplicação foliar de 2,1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, aumentou a produtividade em 11 sacas ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Equações de regressão ajustadas para produtividade (P) do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) como variável dependente (y) das doses de ZnSO<sub>4</sub> (x), em kg ha<sup>-1</sup>, doses recomendáveis (DR) de ZnSO<sub>4</sub>, em kg ha<sup>-1</sup>, para produção máxima em duas e quatro pulverizações para oito anos agrícolas.

Ano Agrícola	Duas pulverizações				Quatro pulverizações			
	Equação <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	P	DR	Equação	R <sup>2</sup>	P	DR
1981/82	$y = 16,6 + 8,96\sqrt{x} - 2,4x$	0,96*	24,8	3,4	$y = 16,8 + 6,52\sqrt{x} - 1,06x$	0,97*	26,8	9,5
1982/83	Ns	-	-	-	ns	-	-	-
1983/84	$Y = 10,9 + 4,15x - 0,19x^2$	0,96*	32,5	10,4	$y = 11,8 + 5,94\sqrt{x} - 0,96x$	0,85*	21,0	9,6
1984/85	Ns	-	-	-	$y = 36,7 + 9,89\sqrt{x} - 1,28x$	0,99*	55,8	14,9
1985/86	Ns	-	-	-	ns	-	-	-
1986/87	$y = 56,3 + 6,7\sqrt{x} - 1,19x$	0,99*	65,6	7,8	$y = 56,3 + 5,28\sqrt{x} - 0,65x$	0,99*	66,9	16,4
1987/88	Ns	-	-	-	ns	-	-	-
1988/89	Ns	-	-	-	ns	-	-	-

<sup>1</sup>ns; \*não-significativo e significativo em nível de 5% pelo teste de F.

**Tabela 3.** Equações de regressão ajustadas para teor foliar de Zn, em mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca, como variável dependente (y) das doses de ZnSO<sub>4</sub> (x), em kg ha<sup>-1</sup>, e valores de referência de Zn (VR) para a produtividade máxima, em duas e quatro pulverizações.

Ano Agrícola	Duas pulverizações			Quatro pulverizações		
	Equação de regressão <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	VR	Equação de regressão	R <sup>2</sup>	VR
1981/82	$y = 7,8 + 4,04640x$	0,89*	21,4	$y = 5,1 + 2,09010x$	0,97*	24,3
1982/83	$y = 4,3 + 0,04126x$	0,81*	-	$y = 4,7 + 0,41869x$	0,89*	-
1983/84	$y = 8,3 + 0,37213x$	0,88*	12,1	$y = 11,4 + 1,67244x$	0,96*	27,5
1984/85	$y = 9,9 + 0,07283x$	0,91*	-	$y = 9,8 + 0,17351x$	0,96*	12,4
1985/86	$y = 8,4 + 0,34225x$	0,79*	-	$y = 10,2 + 0,31452x$	0,96*	-
1986/87	$y = 7,2 + 0,46290x$	0,78*	10,8	$y = 8,8 + 0,46968x$	0,98*	16,4
1987/88	$y = 7,6 + 0,41258x$	0,85*	-	$y = 12,5 + 2,09435x$	0,96*	-
1988/89	$y = 7,4 + 0,24451x$	0,96*	-	$y = 14,7 + 2,29161x$	0,98*	-

<sup>1</sup>\*Significativo em nível de 5% pelo teste de F.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações de regressão de produtividade (P), dose recomendável (DR) e valores de referência para a necessidade de Zn (VR), todos altos e significativos, indicam a precisão das estimativas. Os teores de Zn estimados nas folhas e a produtividade aumentaram com o suprimento via foliar de solução de  $ZnSO_4$ . A correção da deficiência por adubação via foliar com  $ZnSO_4$  é fácil, rápida e econômica (MELO et al., 1999), além de extremamente eficiente para garantir maiores produtividades.

#### Determinação do valor de referência de zinco (VR)

Obtiveram-se variações dos valores de referência nas folhas entre os anos agrícolas avaliados, numa amplitude de 10,8 a 21,4 mg  $kg^{-1}$  de Zn de matéria seca com duas pulverizações e de 12,4 a 27,5 mg de Zn  $kg^{-1}$  de matéria seca com quatro pulverizações; os valores de referência mais elevados foram obtidos nos anos agrícolas de baixa produtividade (Tabelas 2 e 3).

Tomando-se por base os anos de alta produtividade do cafeeiro (Tabela 2), verificou-se que os valores de referência encontrados neste trabalho situaram-se entre 10,8 a 16,4 mg  $kg^{-1}$  de Zn (Tabela 3) e encontram-se próximos dos níveis críticos de 8 a 16 mg  $kg^{-1}$  de Zn obtidos por vários autores citados por Malavolta (1993) para a máxima produtividade.

A determinação de um nível crítico de Zn nas folhas do cafeeiro em produção também não é ponto concordante entre os autores.

Dada a grande variação do nível crítico em função da produção e, principalmente, da bienalidade da produção do cafeeiro, a definição do nível crítico de um nutriente para o cafeeiro não deve ser vista como um valor abaixo do qual a produção é limitada pela falta do mesmo e acima do qual a sua aplicação não é economicamente viável (MALAVOLTA et al., 1997); deve ser vista, porém, como uma faixa de teores adequados para obtenção de produtividades altas.

Dessa forma, os valores de referência encontrados neste trabalho concordam com Martinez et al. (2003), que indicaram a faixa crítica de 6 a 24 mg  $kg^{-1}$  para o Sul de Minas Gerais como adequada para produtividades acima de 30 sacas de café beneficiado  $ha^{-1}$  para cultivo convencional no espaçamento 4,0 x 2,0 m.

#### Produtividade média de oito anos agrícolas

A produtividade média de oito anos foi máxima (35,5 sacas  $ha^{-1}$ ) com a dose 10,8 kg  $ha^{-1}$  de  $ZnSO_4$ , com duas pulverizações (Figura 1A). A produtividade máxima com quatro pulverizações (37,7 sacas de café  $ha^{-1}$ ) foi obtida com a dose de

12,6 kg  $ha^{-1}$  de  $ZnSO_4$  (Figura 1B). A partir das doses equivalentes às produções máximas, houve redução na produtividade.

Existem controvérsias com relação à dose ideal de Zn a ser aplicada, via foliar, em cafeeiros em produção. Essas doses são citadas em termos de percentagem de concentração (peso do sal por volume de água), sem verificação de outros fatores, como informações sobre solo, teor de Zn no solo e na planta e número de aplicações. A aplicação de  $ZnSO_4$  via foliar é economicamente compensatória até quando o preço do quilo do sulfato de zinco for 30 vezes maior do que o preço do quilo de café beneficiado (VILAS BOAS et al., 2004). Ananth e Chokkanna (1962) e Ananth e Rao (1970) citam a dose de 1,6 kg  $ha^{-1}$  de Zn como ideal. Assim, produções máximas foram obtidas com doses de 10,8 e 12,6 kg  $ha^{-1}$  de  $ZnSO_4$ , para duas e quatro aplicações anuais, respectivamente, e sugerem-se valores entre 10 e 28 mg  $kg^{-1}$  como faixa crítica foliar de Zn.

#### Relação Fósforo/Zinco

Além dos teores absolutos dos nutrientes zinco e fósforo, a relação entre eles torna-se importante ferramenta para avaliar o estado nutricional dos cafeeiros, refletindo melhor os eventuais desequilíbrios (MALAVOLTA et al., 1997). Neste trabalho, a aplicação de doses crescentes de sulfato reduziu a relação P/Zn nas folhas do cafeeiro.

Os teores foliares médios de P dos oito anos agrícolas reduziram-se com o aumento das doses de  $ZnSO_4$ , com a aplicação de duas e quatro pulverizações foliares de  $ZnSO_4$ , e houve o inverso com os teores foliares de Zn. Consequentemente, verifica-se a redução da relação P/Zn com a aplicação de duas e quatro pulverizações, sendo as menores relações encontradas quando se realizam quatro pulverizações (Tabela 4).

A grande variação ocorrida na produtividade dos anos agrícolas avaliados deve-se à alternância entre grandes e pequenas produções, que são constantes no cafeeiro, de forma a caracterizar a bienalidade típica da espécie arábica quando cultivada a pleno sol (COOIL, 1960); o coeficiente de variação (C.V.) de 4,89%, todavia, indica boa precisão experimental. Da mesma forma, foram observados os C.V. dos teores foliares de P e de Zn (3,37 e 12,35, respectivamente) e da relação P/Zn (8,70), confirmando essa precisão. Portanto, por essa bienalidade, optou-se por fazer a regressão utilizando-se a produção média de oito colheitas e os valores médios da relação P/Zn, determinando-se a melhor relação entre estes nutrientes pela produção máxima obtida para duas e quatro pulverizações (Figuras 1A e B, respectivamente).

**Tabela 4.** Produtividade média de oito anos agrícolas, teores foliares de P e de Zn no biênio de 88/89 e relação P/Zn em função do número de pulverizações e das doses de sulfato de zinco.

No de Aplicações	Doses de ZnSO <sub>4</sub>		Produtividade (Sacas ha <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Relação P/Zn
	(kg ha <sup>-1</sup> )					
2	0,0		28,80 c	1,74	8,74	199,08
	6,2		35,07 b	1,65	10,91	151,24
	12,4		35,76 b	1,66	11,21	148,08
	18,6		34,85 b	1,65	17,13	96,32
4	0,0		28,80 c	1,74	8,74	199,08
	12,4		38,33 a	1,64	25,26	64,92
	24,8		35,40 b	1,65	39,66	41,60
	37,2		33,64 b	1,62	50,22	32,25
C.V. (%)			4,89	3,37	12,35	8,70
Média			34,55	1,67	21,48	116,66

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Verificou-se redução linear da relação P/Zn para aplicação de duas (Figura 1A) e quatro pulverizações (Figura 1B). Para duas pulverizações, a relação P/Zn foi de 144,9 e, para quatro pulverizações, foi 100,6, correspondendo às produções máximas de 35,5 e 37,5 sacas beneficiadas por ha, respectivamente. Como faixa adequada ao cafeeiro, portanto, sugerem-se valores entre 100 a 150. Estas relações estimadas encontram-se na faixa de 125 a 187, considerada adequada para o cafeeiro, segundo Malavolta (1993).

## Conclusão

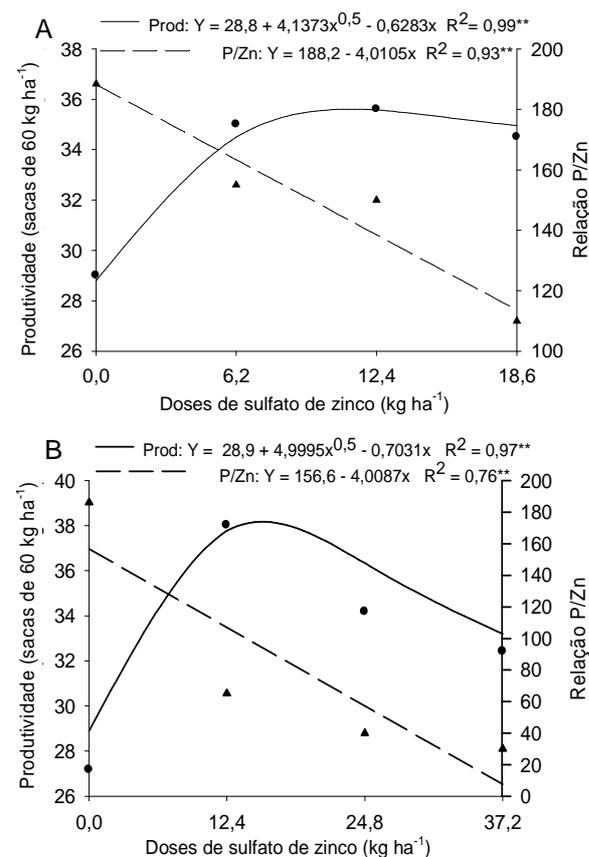
Doses maiores do que 2,8 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (12,4 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>) reduziram as produções, que, ainda assim, foram superiores à obtida pela testemunha sem zinco.

Os teores de Zn nas folhas do cafeeiro, nos anos de alta produtividade, variaram de 10,8 a 16 mg kg<sup>-1</sup> para duas e quatro pulverizações, respectivamente.

A relação P/Zn reduziu-se com o aumento das doses de sulfato de zinco aplicadas e a máxima produtividade foi obtida com as relações 145 para duas e 100 para quatro pulverizações.

## Referências

- ANANTH, B. R.; CHOKKANNA, N. G. Zinc deficiency in arabica coffee. **World Crops**, v. 14, n. 3. p. 89-91, 1962.
- ANANTH, B. R.; RAO, H. H. Field observations on the efficacy of foliar sprays of zinc salt for correcting zinc deficiency in arabica coffee. **Indian Coffee**, v. 34, n. 1, p.15-17, 1970.
- BORKERT, C. M.; COX, F. R.; TUCKER, M. R. Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice and corn in soil mixtures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, n. 19-20, p. 2991-3005, 1998.
- CFSMG-Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 3ª aproximação**. Belo Horizonte: Epamig, 1978.
- COOIL, B. J. **La composición de la hoja en relación al crecimiento y al rendimiento del café en Kona**. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1960. (Materiales de enseñanza de café y cacao, 19).
- DAVIS, J. G.; PARKER, M. B. Zinc toxicity symptom development and partitioning of biomass and zinc in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 12, p. 2353-2369, 1993.
- DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A.C. Diagnose visual. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafós, 1991. p. 273-308.
- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. Van;



**Figura 1.** Produtividade de café beneficiado e valores da relação P/Zn, média de oito anos agrícolas, em função das doses, em duas (A) e quatro (B) pulverizações foliares de ZnSO<sub>4</sub>.

- ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq, 2001.
- FRANCO, C. M.; MENDES, H. C. Deficiências de Zn em cafeeiro. **Boletim da Superintendência dos Serviços de Café**, v. 29, n. 334, p. 34-39, 1954.
- GRANT, C. A.; BAILEY, L. D. Interactions of zinc with banded and broadcast phosphorus-fertilizer on the concentration and uptake of P, Zn, Ca and Mg in plant-tissue of oilseed flax. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 73, n. 1-2, p. 17-29, 1993.
- GUIMARÃES, P. T. G.; CARVALHO, J. C.; MELLES, C. C. A.; MALAVOLTA, E. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de Zn na produção e na composição mineral das folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Anais da ESALQ**, v. 40, n. 1, p. 497-507, 1983.
- HOFFMANN, C. R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A.; ENVANGELISTA, A. R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colômbio em amostras de um Latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 19, v. 1, p. 79-86, 1995.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNÁNDEZ, D. R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: Mapa/Procafé, 2002.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995.
- MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ, V. V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do Estado nutricional do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p.703-713, 2003.
- MARTINEZ, H. E. P.; ZABINI, A. V.; FRANCO, I. A. L.; NOVAIS, R. F. Translocação e compartimentalização de zinco em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 491-497, 2005.
- MELO, M. E.; GUIMARÃES, P. T. G.; SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D. Efeito da aplicação foliar de zinco na produção do cafeeiro (*Coffea arabica*, L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n. 1, p. 84-95, 1999.
- PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E. Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 471-478, 2008.
- PEARSON, J. N.; RENGEL, Z. Uptake and distribution of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 281, p. 1829-1835, 1994.
- PINTON, R.; CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Effect of zinc deficiency on proton fluxes in plasma membrane-enriched vesicles isolated from bean roots. **Journal of Experimental Botany**, v. 44, n. 3, p. 623-630, 1993.
- RODRIGUES, L. A.; SOUZA, A. P.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Absorção e translocação de Zn em feijoeiro aplicado via foliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, n. 2, p.111-115, 1997.
- SOUZA, C. A. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E.; NOGUEIRA, F. D. Efeitos de doses de zinco via solo em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 4, p. 890-899, 2001.
- SWIETLIK, D. Interaction between zinc-deficiency and boron toxicity on growth and mineral nutrition of sour orange seedling. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 6, p. 1191-1207, 1995.
- TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; SILVA, A. G.; KIKUTI, H. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 255-259, 2008.
- VILAS BOAS, L. H. B.; ANTONIALLI, L. M.; SETTE, R. S.; MÁRIO, T. M. C.; LUNA, R. M. Marketing dos agentes da cadeia do agronegócio do café: uma análise sob a ótica do marketing mix. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, v. 6, n. 1, p. 92-106, 2004.

Received on January 30, 2008.

Accepted on August 27, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.