

NUTRIÇÃO DO CAFEIEIRO EXPOSTO AO CÁDMIO, NÍQUEL E ZINCO¹

Tiago Tezotto²; José Laércio Favarin³; Ana Paula Neto⁴; Ricardo Antunes de Azevedo⁵; Paulo Mazzafera⁶

¹ Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP: Processo 2006/01248-2

² M. Sc., Doutorando, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, tezotto@esalq.usp.br

³ Professor, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jlfavari@esalq.usp.br

⁴ M. Sc., Doutoranda, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, anap_net@yahoo.com.br

⁵ Professor, Departamento de Genética, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, raazeved@esalq.usp.br

⁶ Professor, Departamento de Biologia Vegetal, IB/UNICAMP, Campinas-SP, pmazza@unicamp.br

RESUMO: A contaminação do solo por metais pesados, como o cádmio (Cd), níquel (Ni) e zinco (Zn) pode afetar o estado nutricional do cafeeiro. No manejo da adubação e de outras práticas culturais, pode ocorrer a contaminação indesejável desses elementos que se acumulam nos solos, podem prejudicar as raízes e, em consequência, a absorção dos nutrientes. Considerando a problemática dos metais pesados nos sistemas agrícolas foi realizada uma pesquisa para avaliar a ação de doses crescentes de Cd, Ni e Zn sobre o estado nutricional de plantas de cafeeiro em produção, nas condições de campo. O estado nutricional do cafeeiro, aos 128 dias após a aplicação dos metais pesados, não foi afetado, exceto para o nitrogênio e o fósforo, os quais reduziram nas maiores doses de Cd e Zn.

Palavras-chave: Macronutrientes; Micronutrientes; *Coffea arabica* L.; Metais pesados

NUTRITIONAL STATUS OF COFFEE PLANTS EXPOSED TO CADMIUM, NICKEL AND ZINC

ABSTRACT: Environmental contamination by heavy metals, including cadmium (Cd), nickel (Ni) and zinc (Zn), both in the cultivated soils and agricultural products, demand constant monitoring of soils and the quantification of these elements in different organs vegetables. In the management of fertilizer and other cultural practices, there are undesirable contamination of heavy metals that accumulate in the soil, causing damage to plant growth, production and / or quality of products. Considering the importance of the problem of heavy metals in agricultural systems is essential to know the action of Cd, Ni and Zn in the metabolic processes in the coffee. The purpose of this study was to test the influence of applications of increasing doses of Cd, Ni and Zn on the nutritional status of coffee plants in production in field conditions. By means of the parameters analyzed up to 128 days, the nutritional status of coffee is not affected by the application of metals, with the exception of nitrogen and phosphorus, which reduces the highest levels of Cd and Zn.

Key words: Macronutrients; Micronutrients; *Coffea arabica* L.; Heavy metals

INTRODUÇÃO

A contaminação por metais pesados é um problema mundial, uma vez que estes materiais geralmente são estáveis, não degradam e persistem no ambiente. Os solos apresentam mecanismos de precipitação, processos de adsorção e reações de óxido-redução que naturalmente atenuam a biodisponibilidade e a lixiviação de baixas quantidades de metais pesados (Hseu et al., 2010).

Em áreas agrícolas a adição de fontes antrópicas como os biossólidos que apresentam, com frequência, teores elevados de Cd, Cu, Cr, Pb, Ni e Zn (Mattigod & Page, 1983); uso de fertilizantes fosfatados fabricados a partir de rochas sedimentares (Grant & Sheppard, 2008) e aplicação de fontes de micronutrientes provenientes de subprodutos industriais (Mortvedt, 2001) contribuem para o aumento dos teores desses metais pesados nos solos das áreas cultivadas.

O uso de fontes antrópicas em cafezais é uma prática crescente no programa de fertilização, como forma de complementar a adubação, com a finalidade de reduzir o uso de fertilizantes químicos e, conseqüentemente, o custo da nutrição do cafeeiro. Há muitas especulações em relação aos efeitos dos altos teores de metais pesados, presentes nos resíduos industriais e urbanos aplicados no cafeeiro (Martins, 2005; Ferreira, 2005). Embora haja algumas publicações referindo-se aos problemas de toxidez de metais em solos ácidos para muitas espécies cultivadas, ainda são escassos os trabalhos publicados sobre o efeito tóxico desses elementos em plantas de café (Pavan & Bingham, 1982; Mazzafera, 1998).

Embora o problema ocorra há bastante tempo, o primeiro relato específico foi feito por Abreu et al. (2005), os quais estudaram os teores de alguns metais pesados em 13.416 amostras de solo de 21 Estados brasileiros, dos quais alguns eram cultivados com cafeeiro no Estado de São Paulo. Os autores constataram as seguintes faixas de teores: Cd (0 - 3,43 mg dm⁻³); Cr (0 - 42,9 mg dm⁻³); Ni (0 - 65,1 mg dm⁻³); Pb (0 - 63,9 mg dm⁻³) e Zn (0,1 - 453,0 mg dm⁻³). A

maioria destes solos apresentavam 2,29%; 0,35%; 0,19% e 19,6% acima dos teores de referência para solos não cultivados, em relação a Cd, Cr, Ni e Pb, nessa ordem. Segundo os autores o alto nível desses elementos estaria relacionado com o uso de resíduos de biossólidos. Assim, a presente pesquisa foi realizada com base na hipótese de que a presença de Cd, Ni e Zn no solo, pode diminuir a absorção de nutrientes pelo cafeeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de dezembro de 2007 a agosto de 2009 na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil. A área situa a 22°42’ de latitude Sul e 47°38’ de longitude Oeste e 580 m de altitude, em solo classificado como Nitossolo Vermelho, Eutroférico, latossólico, textura argilosa e declividade média de 2%. De acordo com a classificação de Koppen o clima regional é do tipo Cwa, tropical de altitude com inverno seco, temperatura média anual de 22°C e precipitação pluvial média de 1280 mm anuais.

Nesta pesquisa foram utilizadas plantas de *Coffea arabica* L. cv. Obatã IAC 1669-20 com sete anos de idade, no espaçamento 3,4 m x 0,9 m (3.270 plantas ha⁻¹). O controle de pragas e doenças foi feito de acordo com técnicas agronômicas recomendadas para esta cultura.

Como são raras as informações sobre teores de contaminação por metais pesados em solos brasileiros cultivados foi utilizado, na presente pesquisa, os teores de Cd, Ni e Zn propostos por Abreu et al. (2005). Para estes autores os níveis tóxicos determinados com extrator DTPA variam entre 150 a 452 mg dm⁻³ para o Zn, 30 a 65 mg dm⁻³ para o Ni e de 1 a 3 mg dm⁻³ para o Cd, para solos do Estado de São Paulo.

Para o cálculo da dose de metais pesados aplicado por planta considerou o volume de 1000 dm⁻³, obtido pelo produto entre a área da projeção da copa de cada planta (2 m²) e a exploração radicular até 0,5 m de profundidade, região onde concentra a maior parte das raízes do cafeeiro (Huxley et al., 1974).

Assim, com base no exposto foram aplicadas as seguintes doses: 0, 15, 45 e 90 g planta⁻¹ para o Cd; 0, 35, 105 e 210 g planta⁻¹ de Ni; e 0, 100, 300 e 600 g planta⁻¹ de Zn. As doses foram parceladas em três aplicações, no início do experimento (18/12/2007), aos 63 dias (19/02/2008) e aos 95 dias (22/03/2008). As quantidades de cada metal foram aplicadas na forma de sulfato, as quais foram solubilizadas em 10 L de água e distribuiu 5 L sob a copa do cafeeiro de cada lado da planta voltada para a entrelinha. A aplicação foi feita lentamente permitindo a infiltração da solução no solo.

As amostras do primeiro e terceiro par de folhas, bom como os ramos do terço médio do cafeeiro foram coletadas na primeira aplicação de metais e após 128 dias. O material foi seco em estufa a 60 °C por 72 horas e posteriormente, moídas para a quantificação de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn por difração de Raio-X (EDXRF, Shimadzu, São Paulo). O nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl (Bremer, 1965) e o Boro pelo método da Azometrina-H (Bingham, 1982) somente nas amostras foliares.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise da folha diagnose (3° par de folhas), folhas novas (1° par de folhas) e dos ramos plagiotrópicos do cafeeiro, realizadas 128 dias após a aplicação dos tratamentos estão apresentados nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

De acordo com Raij et al. (1997), para a avaliação do estado nutricional do cafeeiro são considerados teores adequados na folha diagnose para o N (26-32 g kg⁻¹); P (1,2-2,0 g kg⁻¹); K (18-25 g kg⁻¹); Ca (10-15 g kg⁻¹); Mg (3,0-5,0 g kg⁻¹); e S (1,5-2,0 g kg⁻¹).

Os cafeeiros que receberam a aplicação de Ni e Zn, bem como o controle, aos 128 dias apresentaram teor de N na folha diagnose (Tabela 1) dentro da faixa adequada proposta por Raij et al. (1997) independente da dose aplicada. Porém, a aplicação do Cd reduziu o teor de N foliar, abaixo daquela considerada adequada em razão da aplicação de 45 e 90 g planta⁻¹ de Cd. O Cd afeta a absorção de nitrato, que por sua vez resulta em menor atividade da enzima redutase do nitrato, com prejuízo para o metabolismo do nitrogênio (Boussama et al., 1999). Além disso, as enzimas redutase do nitrato e glutamina sintetase são sensíveis ao Cd, enquanto a glutamato desidrogenase mostra um aumento substancial de atividade sob a sua influência, o que ocasiona um acúmulo de amônio na planta (Gouia et al., 2003).

Em relação às folhas novas (primeiro par de folhas) não houve redução do teor de N (Tabela 2), em que os valores foram superiores aos analisados na folha diagnose (Tabela 1), devido ao intenso metabolismo destas folhas, o qual foi atendido pela remobilização de compostos nitrogenados de outros órgãos do cafeeiro (Lima Filho & Malavolta, 2003). Isto provavelmente ocorreu nas plantas em que houve restrição à absorção do N, pelo efeito tóxico do Cd às raízes (Salt et al., 1995), o que pode ser comprovado pela redução dos teores de Ca e B foliares (Tabela 2), em razão desses nutrientes serem imóveis no cafeeiro e os teores foliares dependerem basicamente da absorção radicular.

O teor de P reduziu com a aplicação de Cd e Zn, sendo que os valores encontrados estiveram abaixo da faixa adequada nas folhas diagnóstico (1,2-2,0 g kg⁻¹), para as aplicações de 45 e 90 g planta⁻¹ de Cd e 600 g planta⁻¹ de Zn (Tabela 1). Essa redução pode ser devido à maior redistribuição do P para atender os órgãos em crescimento, em razão da menor absorção do elemento pelas raízes (Lima Filho & Malavolta, 2003).

O resultado da análise das folhas novas (Tabela 2) demonstrou redução do teor de P foliar quando se aplicou Cd e Zn, os quais estiveram acima da faixa adequada proposta por Raij et al. (1997), bem como das folhas diagnóstico. Considerando que o teor disponível de P no solo estava acima do nível crítico (13 mg dm^{-3} , Tabela 2) estabelecido para culturas perenes (Raij et al., 1997), a redução do teor foliar de P nas folhas novas comparativamente ao controle pode ser explicada pela menor absorção do P pelas raízes afetadas pelo alto teor de Cd e Zn disponível no sistema radicular. O Cd no solo tem efeito negativo no crescimento e na atividade radicular (Mitchell & Fretz, 1977) e prejudica a capacidade das raízes em absorver água (Carlson et al., 1975). Curiosamente o teor de P no ramo não sofreu alteração com a aplicação de Cd, Ni e Zn (Tabela 3).

Os teores de K, Ca, Mg e S não apresentaram grandes alterações nas folhas diagnóstico e no ramo plagiotrópico com a aplicação dos metais Cd, Ni e Zn (Tabelas 1 e 3). De modo geral, os teores de K e Mg na folha diagnóstico ficaram abaixo da faixa adequada (Raij et al., 1997), o que manifestou sintomas foliares de deficiência desses elementos nos cafeeiros. Com relação aos teores na folha nova, a aplicação de Cd levou a redução do teor foliar de K, Ca, Mg e S como consequência da aplicação de 15, 45 e 90 g planta⁻¹ (Tabela 2). Há no mínimo dois mecanismos distintos que contribuem para a redução na absorção de macronutrientes e micronutrientes devido ao elemento Cd. O primeiro mecanismo físico-químico que se dá pelo tamanho do raio iônico do Cd ($1,03 \text{ \AA}$), o qual reduz a absorção do Zn ($0,83 \text{ \AA}$) e do Ca ($1,06 \text{ \AA}$) (Yang et al., 1996). Já o segundo mecanismo, se dá pela desordem no metabolismo celular, que resulta em alterações nas enzimas de membrana e na própria estrutura da membrana da célula radicular (Prasad, 1995).

Na presente pesquisa, o teor de B não apresentou redução nas folhas diagnóstico, como consequência da aplicação de Cd, Ni e Zn (Tabela 1), permanecendo dentro da faixa adequada de $50 - 80 \text{ mg kg}^{-1}$ de B (Raij et al., 1997). Entretanto, nos resultados das análises das folhas novas, os teores de B foram menores que os valores observados para a folha diagnóstico (Tabela 2), com decréscimo de B foliar no sentido da base para o ápice do ramo plagiotrópico, ou seja, da folha mais velha a folha mais nova, confirmando os resultados obtidos de Leite et al. (2007).

Os resultados dos teores de Cu na folha diagnóstico e nas folhas novas (Tabela 1 e 2) ficaram dentro da faixa adequada para o cafeeiro de $10-20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu (Raij et al., 1997). Somente na aplicação de Cd observou uma tendência de redução do teor de Cu nas folhas novas (Tabela 2), explicado pela redução da absorção, devido ao efeito tóxico do Cd no sistema radicular do cafeeiro. Os teores de Cu nos ramos foram, aproximadamente, duas vezes superiores aos teores deste nutriente encontrados nas folhas. Estes valores corroboram aqueles obtidos por Malavolta et al. (2002), que, também, observaram maiores teores desse micronutriente nos ramos de cafeeiro arábica. Provavelmente o ramo constitui um órgão de reserva de Cu para o cafeeiro.

Os teores de Fe não apresentaram alterações com a aplicação de Cd e Zn na folha diagnose, folhas novas e ramos (Tabelas 1, 2 e 3). Entretanto, a aplicação de Ni aumentou o teor desse micronutriente nas folhas novas (Tabela 2), contrário ao que foi observado por Mysliwa-Kurdziel et al. (2004), que relataram deficiência de Fe tanto pelo atraso na absorção ou pela imobilização do Fe no sistema radicular em razão da exposição ao Ni. Porém, o Ni pode substituir o Fe devido à similaridade dos seus raios iônicos (Alloway, 1995), o que poderia disponibilizar o Fe para a solução do solo, possibilitando o aumento do teor de Fe disponível para absorção pelo cafeeiro. Os teores de Fe encontrados nas folhas diagnóstico de cafeeiros que receberam aplicação de Ni (Tabela 1) ficaram acima da faixa adequada de $50 - 200 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe indicada por Raij et al. (1997).

Para o Mn, a aplicação de Cd, Ni e Zn reduziu os teores na folha diagnóstico (Tabelas 1), porém os teores foliares encontrados ficaram na faixa considerada adequada $50 - 200 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn para o cafeeiro (Raij et al., 1997). Nas folhas novas (Tabela 2), houve redução do teor foliar de Mn somente nas aplicações com Cd e Zn, enquanto para o Ni, os teores foliares não foram alterados.

Com relação ao Zn, o teor nas folhas diagnóstico e nova nos tratamentos com Cd e Ni ficaram abaixo dos níveis considerados adequados para o cafeeiro ($10 - 20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn) (Raij et al., 1997). Porém, apesar do fornecimento de Zn em quantidades muito acima daquelas recomendadas para o cafeeiro, os teores na folha diagnóstico só foram superiores à classe adequada com o fornecimento de $600 \text{ g planta}^{-1}$ de Zn. Entretanto, no ramo houve um acúmulo acentuado a partir da aplicação de $300 \text{ g planta}^{-1}$ de Zn, o que sugere que o mesmo é um órgão de acúmulo de Zn. Nas folhas novas os teores de Zn foram, de modo geral, superiores àqueles encontrados em folhas diagnóstico, o que poderia em parte ser reflexo da alta demanda deste nutriente em tecidos em crescimento (Haslett et al., 2001).

Tabela 1 – Resultado da análise da folha diagnóstica do cafeeiro em EDXRF aos 128 dias após a aplicação de doses crescentes de Cd, Ni e Zn

Metal	Aplicado g planta ⁻¹	N*	P	K	mg g ⁻¹			B**	Cu	μg.g ⁻¹		
					Ca	Mg	S			Fe	Mn	Zn
	Controle	27,5 ± 0,7	1,6 ± 0,2	17,3 ± 2,0	16,7 ± 3,4	2,4 ± 0,3	1,8 ± 0,0	47,6 ± 15,8	14,6 ± 3,9	321,4 ± 40,2	465,5 ± 35,8	7,2 ± 0,4
Cd	15	26,8 ± 2,0	1,3 ± 0,2	14,9 ± 3,6	25,5 ± 5,4	2,9 ± 0,6	2,1 ± 0,7	72,4 ± 9,3	12,0 ± 2,4	376,8 ± 69,7	410,2 ± 87,9	7,0 ± 1,1
	45	22,9 ± 1,7	0,9 ± 0,1	10,3 ± 1,1	11,6 ± 1,7	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,1	54,3 ± 20,6	4,7 ± 1,6	192,0 ± 21,1	249,4 ± 82,0	4,9 ± 0,4
	90	21,8 ± 2,0	1,0 ± 0,2	16,1 ± 1,4	18,4 ± 11,3	1,7 ± 0,2	1,6 ± 0,1	48,1 ± 28,4	9,7 ± 4,6	329,1 ± 109,8	265,4 ± 88,3	6,8 ± 1,2
Ni	35	28,5 ± 1,4	1,2 ± 0,1	18,7 ± 3,7	25,4 ± 2,4	2,5 ± 0,7	1,7 ± 0,2	78,9 ± 10,7	15,0 ± 1,3	387,6 ± 57,0	335,4 ± 69,5	8,1 ± 1,3
	105	26,3 ± 1,4	1,4 ± 0,1	17,7 ± 0,1	27,2 ± 5,5	1,8 ± 0,6	1,9 ± 0,1	74,3 ± 16,8	12,1 ± 2,6	323,8 ± 52,2	278,0 ± 38,7	6,9 ± 0,2
	210	27,8 ± 3,4	1,2 ± 0,2	16,7 ± 2,7	24,0 ± 12,1	2,1 ± 0,4	1,6 ± 0,1	47,6 ± 9,1	12,7 ± 4,4	340,3 ± 72,0	230,0 ± 41,2	7,2 ± 0,6
Zn	100	28,0 ± 2,6	1,3 ± 0,1	13,5 ± 2,0	14,7 ± 8,2	2,5 ± 0,9	1,6 ± 0,3	49,2 ± 16,1	11,6 ± 2,1	327,7 ± 93,5	405,2 ± 49,0	10,5 ± 5,5
	300	24,9 ± 0,8	1,2 ± 0,1	15,8 ± 2,0	25,8 ± 2,7	2,2 ± 0,3	1,8 ± 0,1	101,4 ± 34,2	14,1 ± 3,0	412,9 ± 45,6	253,0 ± 37,3	15,1 ± 3,0
	600	27,4 ± 4,3	1,0 ± 0,1	12,9 ± 0,5	13,2 ± 2,1	2,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	40,5 ± 12,0	8,9 ± 1,7	269,7 ± 58,3	154,0 ± 42,5	35,4 ± 7,1

* - Método Kjeldahl, ** - Método da Azometrina-H

Tabela 2 – Resultado da análise do primeiro par de folhas de cafeeiros em EDXRF aos 128 dias após a aplicação de doses crescentes de Cd, Ni e Zn

Metal	Aplicado g planta ⁻¹	N*	P	K	mg g ⁻¹			B**	Cu	μg.g ⁻¹		
					Ca	Mg	S			Fe	Mn	Zn
	Controle	34,6 ± 2,5	2,0 ± 0,1	17,9 ± 0,9	8,8 ± 2,7	2,0 ± 0,2	1,4 ± 0,1	31,6 ± 7,0	15,5 ± 1,3	134,6 ± 24,9	257,0 ± 105,2	9,3 ± 1,4
Cd	15	33,6 ± 3,9	1,9 ± 0,1	19,4 ± 0,3	9,9 ± 2,2	2,0 ± 0,1	1,4 ± 0,1	32,8 ± 9,8	15,5 ± 1,4	135,6 ± 16,0	207,3 ± 20,8	8,5 ± 0,6
	45	31,8 ± 7,1	1,4 ± 0,2	16,6 ± 0,9	4,9 ± 1,6	1,6 ± 0,4	1,0 ± 0,2	27,1 ± 6,7	10,0 ± 2,6	119,0 ± 34,2	152,8 ± 72,1	7,1 ± 0,9
	90	29,7 ± 2,0	1,4 ± 0,1	13,2 ± 0,6	2,7 ± 1,7	1,4 ± 0,2	0,9 ± 0,1	23,7 ± 4,9	12,8 ± 0,4	173,4 ± 54,8	123,8 ± 35,6	6,9 ± 2,1
Ni	35	32,2 ± 3,5	1,8 ± 0,2	18,2 ± 1,3	12,1 ± 4,1	2,2 ± 0,2	1,2 ± 0,1	23,7 ± 2,2	15,7 ± 1,5	141,6 ± 18,2	166,8 ± 37,3	9,8 ± 1,4
	105	38,8 ± 3,5	1,8 ± 0,2	16,3 ± 1,5	10,3 ± 1,3	2,0 ± 0,3	1,5 ± 0,1	27,1 ± 6,3	13,5 ± 2,2	154,8 ± 5,5	168,2 ± 73,2	9,3 ± 0,2
	210	35,0 ± 1,9	1,8 ± 0,1	19,5 ± 0,6	11,8 ± 1,2	2,0 ± 0,3	1,5 ± 0,1	28,7 ± 3,9	13,2 ± 2,0	237,2 ± 20,4	163,2 ± 10,0	8,9 ± 0,8
Zn	100	33,1 ± 4,7	2,0 ± 0,1	18,7 ± 3,0	8,8 ± 3,1	2,0 ± 0,2	1,5 ± 0,2	28,0 ± 22,5	16,1 ± 1,5	135,5 ± 19,5	204,2 ± 58,6	13,3 ± 2,3
	300	35,3 ± 2,1	1,8 ± 0,1	16,3 ± 0,8	9,8 ± 1,3	1,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	26,9 ± 6,3	15,7 ± 1,9	126,2 ± 21,8	101,2 ± 13,0	12,3 ± 3,2
	600	37,8 ± 2,5	1,5 ± 0,2	16,4 ± 0,8	6,5 ± 1,6	2,2 ± 0,2	1,4 ± 0,1	27,0 ± 8,1	14,4 ± 1,6	161,8 ± 22,4	98,4 ± 18,3	16,3 ± 3,1

* - Método Kjeldahl, ** - Método da Azometrina-H

Tabela 3 – Resultado da análise de ramos de cafeeiros em EDXRF aos 128 dias após a aplicação, em razão da aplicação de doses crescentes de Cd, Ni e Zn

Metal	Aplicado g planta ⁻¹	mg g ⁻¹					μg.g ⁻¹			
		P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	Controle	1,3 ± 0,5	21,1 ± 4,1	11,7 ± 1,7	2,3 ± 0,4	1,7 ± 0,3	36,8 ± 5,9	177,0 ± 53,2	212,6 ± 69,5	26,2 ± 11,1
Cd	15	0,8 ± 0,1	18,6 ± 0,7	12,6 ± 0,2	2,5 ± 0,8	1,8 ± 0,1	28,2 ± 8,6	185,8 ± 10,7	211,3 ± 28,0	30,2 ± 12,7
	45	0,8 ± 0,2	17,5 ± 1,8	15,4 ± 2,2	2,1 ± 0,6	1,5 ± 0,2	24,8 ± 8,9	150,7 ± 27,1	101,1 ± 42,3	25,7 ± 12,2
	90	0,8 ± 0,1	18,5 ± 2,0	10,6 ± 0,3	1,5 ± 0,4	1,6 ± 0,3	30,4 ± 2,6	161,6 ± 28,4	233,9 ± 72,6	24,6 ± 4,0
Ni	35	1,1 ± 0,4	22,6 ± 3,3	10,5 ± 1,6	2,5 ± 0,5	1,8 ± 0,1	34,8 ± 2,7	150,2 ± 47,3	132,8 ± 13,0	23,5 ± 8,3
	105	0,8 ± 0,1	18,0 ± 1,6	11,6 ± 0,9	2,3 ± 0,7	1,5 ± 0,2	32,2 ± 6,2	182,9 ± 10,5	217,3 ± 38,2	31,7 ± 10,9
	210	0,7 ± 0,1	18,9 ± 0,2	12,1 ± 0,9	2,1 ± 0,4	1,6 ± 0,2	33,2 ± 4,4	181,7 ± 20,5	187,8 ± 12,5	34,3 ± 10,4
Zn	100	1,2 ± 0,3	22,0 ± 0,9	10,0 ± 0,9	1,8 ± 0,2	1,6 ± 0,1	30,1 ± 1,4	123,8 ± 5,9	163,5 ± 4,4	39,5 ± 19,0
	300	0,8 ± 0,1	18,4 ± 1,5	12,7 ± 1,7	1,9 ± 0,5	1,6 ± 0,2	33,6 ± 5,7	177,2 ± 28,5	129,3 ± 55,4	83,0 ± 33,5
	600	0,8 ± 0,1	17,0 ± 1,0	11,9 ± 0,6	2,6 ± 0,6	1,7 ± 0,1	32,8 ± 3,2	179,0 ± 29,2	127,4 ± 21,0	217 ± 61,0

CONCLUSÕES

O estado nutricional do cafeeiro, em relação aos teores foliares de K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn não é prejudicado pela aplicação de Cd, Ni e Zn, aos 128 dias após o fornecimento dos metais. A concentração de N foliar não altera com a aplicação de Ni e Zn, porém reduz na dose de 45 e 90 g planta⁻¹ de Cd. Em relação ao P foliar, o teor diminui nas doses de 45 e 90 g planta⁻¹ de Cd e 600 g planta⁻¹ de Zn. A concentração de Zn foliar não foi afetada pela aplicação de Cd e Ni.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; RAIJ, B. van; ABREU, M.F.; GONZÁLEZ, A.P. Routine soil testing to monitor heavy metals and boron. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 564-571, 2005.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2. ed. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368 p.
- BINGHAM, F.T. Boron. In: PAGE, A.L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 431-447. (Serie Agronomy, 9).
- BOUSSAMA, N.; OUARITI, O.; SUZUKI, A.; GHORBAL, M.H. Cd-stress on nitrogen assimilation. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 155, p. 310-317, 1999.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1149-1178.
- CARLSON, R.W.; BAZZAZ, F.A.; ROLFE, G.L. The effects of heavy metals on plants. II. Net photosynthesis and transpiration of whole corn and sunflower plants treated with Pb, Cd, Ni and Ti. **Environmental Research**, San Diego, v. 10, p. 113-120, 1975.
- FERREIRA, T.L. **Utilização de lodo de esgoto na implantação de cafezal em latossolo vermelho distrófico**. 2005. 89 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.
- GOUIA, H.; SUZUKI, A.; BRULFERT, J.; GHORBAL, M.H. Effects of cadmium on the co-ordination of nitrogen and carbon metabolism in bean seedlings. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 160, p. 367-376, 2003.
- GRANT, C.A.; SHEPPARD, S.C. Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. **Human and Ecological Risk Assessment**, Philadelphia, v.14, n. 2, p. 210-228, 2008.
- HASLETT, B.S.; REID, R.J.; RENGEL, Z. Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. **Annals of Botany**, London, v. 87, p. 379-386, 2001.
- HSEU, Z.Y.; SU, S.W.; LAI, H.Y.; GUO, H.Y.; CHEN, T.C.; CHEN, Z.S. Remediation techniques and heavy metal uptake by different rice varieties in metal-contaminated soils of Taiwan: New aspects for food safety regulation and sustainable agriculture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 56, p. 31-52, 2010.
- HUXLEY, P.A.; PATEL, R.Z.; KABAARA, A.M.; MITCHELL, H.W. Tracer studies with ³²P on the distribution of functional roots of Arabica coffee in Kenya. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 77, p. 159-180, 1974.
- LEITE, V.M.; BROWN, P.H.; ROSOLEM, C.A. Boron translocation in coffee trees. **Plant and Soil**, The Hague, v. 290, p. 221-229, 2007.
- LIMA FILHO, O.F. de; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho). LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, p. 481-490, 2003.
- MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J.L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C.P.; HEINRICHS, R.; SILVEIRA, J.S.M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1017-1022, 2002.
- MARTINS, D.R.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Qualidade do grão e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 115-126, 2005.
- MATTIGOD, S.V.; PAGE, A.L. Assessment of metal pollution in soil. In: THORNTON, I. (Ed.). **Applied environmental geochemistry**. London: Academic Press, 1983. p. 355-394.
- MAZZAFERA, P. Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity. **Plant and Soil**, The Hague, v. 201, p. 189-196, 1998.
- MITCHELL, C.D.; FRETZ, T.A. Cadmium and zinc toxicity in seedlings white pine, red maple, and Norway spruce. **Ohio Agricultural Research and Development Center Research Circular**, Ohio, v. 226, p. 21-25, 1977.
- MORTVEDT, J.J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes: presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq; FAPESP; POTAFOS, 2001. cap.10, p. 237-254.
- MYSLIWA-KURDZIEL, B.; PRASAD, M.N.V.; STRZALKA, K. Photosynthesis in heavy metal stressed plants. In: PRASAD, M.N.V. (Ed.). **Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems**. New Delhi: Narosa Publishing House, 2004. p. 146-181.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas II. Caracterização da toxidez de níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v 17, p. 323-328, 1982.
- PRASAD, M.N.V. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 35, p. 525-545, 1995.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo; FUNDAG. 1997. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).