

PRODUTIVIDADE DE CAFEIEIRO EXPOSTO AO CÁDMIO, NÍQUEL E ZINCO¹

Bruno Vasconcelos Carvalho²; Tiago Tezotto³; José Laércio Favarin⁴; 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 Graduando, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, brunovascar@hotmail.com

³ M. Sc., Doutorando, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, tezotto@esalq.usp.br

⁴ Professor, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jlfavari@esalq.usp.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: Cada vez mais é importante conhecer os efeitos dos metais pesados, especialmente cádmio (Cd), níquel (Ni) e zinco (Zn), principalmente na produtividade do cafeeiro, uma vez que o uso de fontes antrópicas é uma prática crescente na fertilização dos cafezais. Neste trabalho avaliou-se a exposição de cafeeiros em produção a doses de Cd, Ni e Zn em relação à produtividade, estágio de maturação, massa e peneira médias de grãos. A produtividade média do cafeeiro foi prejudicada pela aplicação das maiores doses de Zn e Cd. O Cd diminuiu a massa de grãos e aumentou a porcentagem de grãos menores, peneiras 14 e 15.

Palavras-chave: Metais pesados; Massa de grãos; Amadurecimento de fruto

PRODUCTIVITY OF COFFEE PLANT EXPOSED TO CADMIUM, NICKEL AND ZINC

ABSTRACT: Becomes increasingly important to obtain information of toxic heavy metals, especially cadmium (Cd), nickel (Ni) and zinc (Zn), mainly in coffee yield, since the use of anthropogenic sources is a growing practice in fertilization programs of coffee farmers. Therefore, we evaluated the exposure of Cd, Ni and Zn to the yield of coffee plants grown under field conditions. Average yield of coffee is reduced by application of higher doses of Zn and Cd. Cd applications decreases grain mass and increase the percentage of grains in the sieve 14 + 15.

Keywords: Heavy metals; Grains mass; Fruit ripening

INTRODUÇÃO

Os metais pesados estão entre os principais contaminantes ambientais e são originados principalmente da intensa atividade agroindustrial. O acúmulo desses metais nos solos e nas plantas, especialmente cádmio (Cd), níquel (Ni) e zinco (Zn), representam riscos para a saúde humana e para os ecossistemas, uma vez que podem entrar na cadeia alimentar (solo-planta-homem ou solo-planta-animal-homem) (McLaughlin; Parker; Clarke, 1999; Silva et al., 2005).

Em razão dos vários problemas que os metais pesados podem causar às plantas e, por consequência, ao homem, tem sido muito grande a quantidade de informações obtidas em estudos com plantas nos últimos anos. Apesar disso, em cafeeiro, poucos trabalhos têm estudado o efeito desses metais na produtividade do cafeeiro. Tais informações são importantes, uma vez que o uso de fontes antrópicas em cafezais é uma prática crescente no programa de fertilização, para complementar a adubação, reduzir o uso de fertilizantes químicos e, conseqüentemente, o custo da adubação.

Muitas especulações existem em relação aos efeitos dos altos teores de metais pesados, presentes nos resíduos industriais e urbanos ao cafeeiro (Martins et al., 2005; Pires et al., 2004; Andrade et al., 2010), porém, são poucos os trabalhos publicados sobre o efeito tóxico desses elementos nos cafeeiros (Pavan & Bingham, 1982; Mazzafera, 1998; Franco et al., 2004). Alguns estudos sobre o efeito de metais nesta espécie têm sido feitos em células em suspensão, no entanto este método não permite extrapolação dos dados para a planta nas condições de campo (Gomes-Júnior et al., 2006a, 2006b, 2007; Bottcher et al., 2010).

Muito dos trabalhos que estudaram a exposição de metais em plantas foram realizados em mudas cultivadas em casa-de-vegetação em substrato ou em solução nutritiva e os resultados obtidos nem sempre são aplicados às plantas cultivadas em condições de campo, em razão dos fatores bióticos e abióticos exercerem forte influência no crescimento e na fisiologia da planta. Ainda, outros estudos que empregam biossólidos como fonte de contaminação desconsideram a quantidade de matéria orgânica, o que pode interferir nos resultados, pela formação de complexos com os metais.

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a exposição de cafeeiros em produção a doses de Cd, Ni e Zn em relação à produtividade, estágio de maturação, massa e tamanho de grãos.

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.

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 (Gindel, 1961; 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.

A colheita foi feita aos 210 dias após a aplicação quando as plantas, por meio da avaliação visual, apresentavam predominantemente frutos cereja. Após a colheita determinou-se a massa de frutos verde, cereja e seco em amostra de 0,5 kg e o resultado foi expresso em porcentagem da massa total de frutos. Os frutos colhidos foram secos em terreiro até umidade de 110 g kg⁻¹ (11%), beneficiados e avaliados a massa dos grãos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na safra agrícola 2007/2008 houve redução da produtividade em razão da aplicação de Cd e Zn. Em relação à aplicação de Ni, em ambas as safras avaliadas, não houve redução da produtividade, apesar do teor de Ni disponível no solo estar acima dos teores considerados tóxicos para as plantas, o que evidencia a capacidade do cafeeiro em tolerar elevados teores de Ni no solo.

Como o início da aplicação dos metais se deu após a antese, em dezembro de 2007, quando os frutos estavam no estágio chumbinho, houve redução da produtividade devido à queda de frutos no tratamento com Zn. É conhecida a importância desse nutriente na biossíntese de auxina, e a relação desse hormônio na modulação da biossíntese do etileno (Marschner, 1995). Em razão disso, provavelmente a queda dos frutos nas plantas tratadas com este metal pode ter sido, em parte, provocado pela maior liberação de etileno pelo cafeeiro.

Nos tratamentos com Cd, essa queda ocorreu pela redução da absorção de água, uma vez que observou sintomas típicos de deficiência hídrica, sugerindo que o sistema radicular foi fortemente afetado por este metal. No segundo ano do experimento, safra 2008/2009, ocorreu a morte das plantas que receberam 45 e 90 gramas planta⁻¹ de Cd, razão porque não são apresentados dados da produtividade (Tabela 1).

Tabela 1 – Produtividade do cafeeiro nas safras 2007/2008 e 2008/2009, em razão da aplicação de doses crescentes de Cd, Ni e Zn

Metal pesado	Aplicado g planta ⁻¹	Produtividade (sacas ha ⁻¹)*		
		2007/2008	2008/2009	Média
	Controle	52,9 ± 19,0	66,9 ± 18,2	59,9 ± 14,9
Cd	15	59,3 ± 13,0	66,1 ± 24,4	62,7 ± 13,3
	45	39,1 ± 7,8	**	19,5 ± 3,9
	90	29,5 ± 28,4	**	14,8 ± 14,2
Ni	35	66,3 ± 14,2	43,9 ± 23,2	55,1 ± 10,3
	105	52,6 ± 23,1	64,2 ± 11,4	58,3 ± 16,7
	210	70,1 ± 6,5	42,9 ± 30,3	58,0 ± 18,3
Zn	100	60,6 ± 29,3	37,1 ± 28,4	45,6 ± 11,6
	300	48,2 ± 19,3	62,1 ± 17,7	55,1 ± 16,0
	600	38,7 ± 20,5	16,2 ± 7,5	27,4 ± 10,9

*Uma saca = 60 kg; ** Plantas mortas

Os resultados de massa e tamanho de grãos apresentaram pouca alteração em relação à aplicação crescente de Ni e Zn no cafeeiro. No entanto, o maior nível de Cd (90 g planta⁻¹) reduziu em 28% a massa de grãos, resultando em grãos de menor tamanho, em que somente 6,3% dos grãos apresentaram tamanho acima de peneira 16+ (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa e peneira média de grãos de cafeeiro na safra 2007/2008, em razão da aplicação de Cd, Ni e Zn

Metal pesado	Aplicado g planta ⁻¹	Massa 100 grãos mg grão ⁻¹	Tamanho (%)	
			Peneira 14 + 15	Peneira 16+
	Controle	14,78 ± 0,25	21,6 ± 2,4	72,3 ± 2,2
Cd	15	14,90 ± 0,13	18,8 ± 1,5	69,8 ± 2,0
	45	14,02 ± 0,54	23,5 ± 2,9	73,0 ± 4,8
	90	10,82 ± 1,30	50,3 ± 2,0	6,3 ± 1,2
Ni	35	13,91 ± 0,28	25,2 ± 1,6	68,8 ± 2,2
	105	14,96 ± 0,40	20,0 ± 1,8	77,3 ± 2,7
	210	14,30 ± 0,44	25,8 ± 3,9	68,8 ± 4,7
Zn	100	14,35 ± 0,61	22,8 ± 3,1	71,6 ± 4,5
	300	14,39 ± 0,39	19,3 ± 1,3	77,5 ± 1,3
	600	14,84 ± 0,54	27,5 ± 4,4	68,0 ± 4,8

A formação de frutos de café depende das condições climáticas e das características do solo, principalmente em relação à disponibilidade hídrica, fundamental para a fase de expansão e granação dos frutos. Em situações de temperaturas médias elevadas e de deficiência hídrica na fase de granação, o índice de grãos de pequena quantidade de massa atingiu até 45% do total de grãos de café de acordo com Camargo e Camargo (2001). No maior nível de Cd aplicado no cafeeiro, observou inicialmente murcha da planta com senescência no ponteiro do cafeeiro, sintomas típicos de estresse hídrico, o que pode ter prejudicado a granação dos frutos. A redução desses parâmetros, além de comprometer a qualidade de bebida, deprecia a classificação comercial do grão em relação ao tamanho (Borges et al., 2002).

A aplicação de 90 gramas planta⁻¹ de Cd na, safra de 2007/2008, ocasionou o secamento dos frutos ainda verde, devido à morte radicular e a diminuição da absorção de água, necessária para a evolução dos diferentes estádios da frutificação e da vegetação do cafeeiro (Tabela 3).

Na safra 2008/2009, observou uma maior porcentagem de frutos verdes em razão da aplicação do Ni, o que indica um atraso na maturação dos frutos do cafeeiro (Tabela 3). A grande proporção de frutos verde leva à maior perda de rendimento final, ao passo que o tipo e a bebida também são comprometidos (Freire & Miguel, 1985). O Ni tem sido reportado por inibir a biossíntese de etileno em frutos (Zheng et al., 2006), devido à substituição do Fe²⁺ da ACC oxidase e formação de um complexo inativo enzima-metal (Mcgarvey & Christoffersen, 1992). Em arabidopsis, o Cd proporcionou a maior produção de etileno na planta, enquanto Ni e Zn não induziram a produção de etileno (Arteca & Arteca, 2007).

Tabela 3 – Estádios de maturação dos frutos nas safras 2007/2008 e 2008/2009, em razão da aplicação de Cd, Ni e Zn

Aplicado g planta ⁻¹	Verde			Cereja			Seco			
	2008	2009	Média	2008	2009	Média	2008	2009	Média	
----- % -----										
Controle	28,2 ± 13,5	27,7 ± 14,4	27,9 ± 12,1	66,4 ± 13,8	49,9 ± 8,3	58,1 ± 9,6	5,4 ± 4,6	20,4 ± 15,1	12,9 ± 8,0	
Cd	15	27,8 ± 10,7	43,1 ± 14,9	35,5 ± 12,0	68,6 ± 11,2	46,9 ± 10,1	57,8 ± 8,9	3,6 ± 2,0	16,4 ± 18,3	7,1 ± 8,3
	45	30,7 ± 14,8	*	30,7 ± 14,8	63,2 ± 13,2	*	63,2 ± 13,2	6,1 ± 2,0	*	6,1 ± 2,0
	90	0,0 ± 0,0	*	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	*	0,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	*	100,0 ± 0,0
Ni	35	19,6 ± 8,3	61,6 ± 16,1	40,6 ± 8,4	66,3 ± 12,8	35,2 ± 16,7	50,8 ± 6,4	14,1 ± 7,8	3,1 ± 6,8	8,6 ± 4,3
	105	22,9 ± 12,7	56,8 ± 19,4	39,8 ± 10,7	71,3 ± 14,3	34,2 ± 7,8	52,7 ± 10,6	5,8 ± 1,8	9,0 ± 18,0	7,4 ± 9,4
	210	8,6 ± 6,1	77,7 ± 5,2	43,1 ± 3,1	75,9 ± 5,5	21,0 ± 6,5	48,5 ± 4,8	15,5 ± 5,1	1,1 ± 2,2	8,3 ± 2,8
Zn	100	27,1 ± 10,2	41,9 ± 3,5	31,6 ± 10,4	67,9 ± 8,8	31,6 ± 24,2	56,5 ± 14,1	5,0 ± 2,6	26,2 ± 24,1	11,8 ± 9,4
	300	28,1 ± 31,8	53,3 ± 8,9	40,7 ± 13,8	60,2 ± 24,9	31,3 ± 6,7	45,7 ± 15,7	14,5 ± 8,4	8,3 ± 9,0	10,0 ± 6,6
	600	17,3 ± 20,3	20,8 ± 28,7	19,0 ± 17,9	71,8 ± 23,7	17,3 ± 17,7	44,6 ± 15,2	10,9 ± 4,4	59,4 ± 44,5	35,2 ± 21,5

CONCLUSÕES

A produtividade média de duas safras do cafeeiro não foi prejudicada pelas doses de Ni; reduziu com a maior dose de Zn (600 g planta⁻¹), assim como nas maiores doses de Cd (45 e 90 g planta⁻¹).

A aplicação de 90 g planta⁻¹ de Cd reduziu a massa e o tamanho dos grãos de café, peneiras 14 e 15.

A maturação dos frutos do cafeeiro foi acelerada pela aplicação de 90 g planta⁻¹ de Cd, enquanto a aplicação de Ni atrasou a maturação dos frutos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 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.
- ANDRADE, S.A.L.; SILVEIRA, A.P.D.; MAZZAFERA, P. Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 5381-5391, 2010.
- ARTECA, R.N.; ARTECA, J.M. Heavy-metal-induced ethylene production in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 164, p. 1480-1488, 2007.
- BORGES, F.B.; JORGE, J.T.; NORONHA, R. Influência da idade da planta e da maturação dos frutos no momento da colheita na qualidade do café. **Ciência e Tecnologia do Alimento**, Campinas, v. 22, p. 158-163, 2002.
- BOTTCHER, A.; NOBILE, P.M.; MARTINS, P.F.; CONTE, F.F.; AZEVEDO, R.A.; MAZZAFERA, P. A role for ferritin in the antioxidant system in coffee cell cultures. **Biomaterials**, London, DOI: 10.1055/s-0030-1250314, 2010.
- FRANCO, E.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E.P. High metal contents in coffee plant organs developed in tubets with different proportions of biosolid composts and carbonized rice hulls. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, p. 503-510, 2004.
- FREIRE, A.C.F.; MIGUEL, A.C. Rendimento e qualidade do café colhido nos diversos estádios de maturação em Varginha-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBG; Gerca, 1985. p. 146-148.
- GINDEL, I. Ecological behavior of the coffee plant under semi-arid conditions. **Qualitas Plantarum et Materiae Vegetabiles**, The Hague, v. 8, p. 329-362, 1961.
- GOMES-JÚNIOR, R.A.; GRATÃO, P.L.; GAZIOLA, S.A.; MAZZAFERA, P.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Selenium-induced oxidative stress in coffee cell suspension cultures. **Funcional Plant Biology**, Victoria, v. 34, p. 449-456, 2007.
- GOMES-JÚNIOR, R.A.; MOLDES, C.A.; DELITE, F.S.; GRATAO, P.L.; MAZZAFERA, P.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Nickel elicits a fast antioxidant response in *Coffea arabica* cells. **Plant, physiology and Biochemistry**, Paris, v. 44, p. 420-429, 2006a.
- GOMES-JÚNIOR, R.A.; MOLDES, C.A.; DELITE, F.S.; POMPEU, G.B.; GRATAO, P.L.; MAZZAFERA, P.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Antioxidant metabolism of coffee cell suspension cultures in response to cadmium. **Chemosphere**, Oxford, v. 65, p. 1330-1337, 2006b.
- 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.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**, 2nd edn. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- 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.
- MAZZAFERA, P. Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity. **Plant and Soil**, The Hague, v. 201, p. 189-196, 1998.
- McGARVEY, D.J.; CHRISTOFFERSEN, R.E. Characterization and kinetic parameters of ethylene-forming enzyme from avocado fruit. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 267, p. 5964-5967, 1992.
- McLAUGHLIN, M.J.; PARKER, D.R.; CLARKE, J.M. Metals and micronutrients – food safety issues. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, p.143-163, 1999.
- 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.
- PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E.; BERTON, R.S. Ácidos orgânicos como extratores de metais pesados fitodisponíveis em solos tratados com lodo de esgoto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, p. 671-676, 2004.
- SILVA, A.L.O. da; BARROCAS, P.R.G.; JACOB, S.C.; MOREIRA, J.C. Dietary intake and health effects of selected toxic elements. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 17, p. 79-93, 2005.
- ZHENG, Q.L.; NAKATSUKA, A.; MATSUMOTO, T.; ITAMURA, H. Pre-harvest nickel application to the calyx of “Saijo” persimmon fruit prolongs postharvest shelf-life. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 42, p. 98-103, 2006.