

CONSEQÜÊNCIAS DE DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO SOBRE A CONTAMINAÇÃO DO SOLO, SEDIMENTOS E ÁGUA POR METAIS PESADOS

J.E.V. NÚÑEZ^(1,2), N.M.B. AMARAL SOBRINHO^(2,3); & N. MAZUR^(3,4)

¹Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Apartado 58, Santiago, Provincia de Veraguas. Panamá

²Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). CEP 23890 000 Seropédica (RJ), Brasil

³Bolsista do CNPq

⁴Autor correspondente

Resumo. Este trabalho teve por objetivos determinar a influência de diferentes métodos de preparo do solo sobre as perdas por erosão de metais pesados e avaliar a contaminação dos sedimentos e da água do córrego principal da microbacia de Caetés, município de Paty do Alferes-RJ. A avaliação foi realizada durante os meses de dezembro de 1996 a março de 1997, no ciclo de cultivo do pepino (*Cucumis sativus* L.). Foram utilizadas parcelas do tipo Wischmeier, de tamanho de 22,0 x 4,0 m. Os tratamentos utilizados foram os seguintes: (i) aração com trator morro abaixo e queimado (MAQ); (ii) aração com trator morro abaixo não queimado com restos de vegetação natural entre as linhas (MANQ); (iii) aração com tração animal em nível, faixas de capim colônias a cada 7,0 m (AA) e (iv) cultivo mínimo, com preparo de covas em nível (CM). Avaliou-se também os teores desses metais nos sedimentos de fundo e na água do córrego principal que drena a microbacia de Caetés. As perdas mais elevadas de metais pesados por erosão foram verificadas no tratamento MAQ, típico da região. Os sedimentos e a água do córrego da microbacia de Caetés mostraram incrementos nos teores totais de Cd, Ni, Pb, Zn e Mn de acordo com a posição de coleta na área. A água coletada no córrego e no açude apresentaram concentrações de Cd, Mn e Pb acima dos padrões máximos estabelecidos para água potável. Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que o uso intensivo de agroquímicos associados as elevadas perdas de solo por erosão podem determinar sérios riscos de contaminação da água do córrego da microbacia que é utilizada pelos animais e para irrigação

Palavras Chaves : contaminação do solo, metais pesados, sedimentos, água, sistema de preparo do solo, erosão.

Resumen. El seguimiento de las pérdidas de metales pesados, por erosión y disolución, en suelos cultivados con pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo diferentes condiciones de laboreo y preparación del suelo fue realizado en parcelas experimentales de tipo Wischmeier instaladas en la cuenca del Catés, municipio de Alferes (Rio Janeiro, Brasil). Los tratamientos utilizados fueron los siguientes: (i) arado con tractor y quemado de los restos vegetales (MAQ), (ii) arado con tractor, sin quemar y dejando restos de vegetación natural entre las líneas (MANQ); (iii) arado con tracción animal siguiendo las curvas de nivel y dejando fajas de colonización por herbáceas cada 7,0 m (AA) y (iv) cultivo mínimo, con preparación de terrazas. Se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento. Las pérdidas más elevadas se obtuvieron en el tratamiento más utilizado en la zona (MAQ). Los sedimentos y el agua de escorrentía presentaron incrementos en los contenidos totales de Cd, Ni, Pb, Zn y Mn de acuerdo con la posición de recogida. Las concentraciones de Cd, Mn y Pb encontradas fueron superiores a los máximos establecidos para aguas potables. Los resultados permiten concluir que el uso intensivo de agroquímicos asociados a las elevadas pérdidas de suelo por erosión pueden producir riesgos de contaminación del agua de la cuenca utilizada para bebida de los animales y para irrigación.

Palabras clave: contaminación del suelo, metales pesados, sedimentos, agua, sistema de laboreo, erosión.

Summary. The objectives of this study were to determine the influence of different soil tillage methods on the loss of heavy metals by erosion, and to evaluate the level of contamination in sediments and water from the main stream in Caetés watershed, Paty do Alferes County, State of Rio de Janeiro. The experiment was conducted from December of 1996 to March of 1997, and cucumber (*Cucumis sativus* L.) was the cultivated crop. Four Wichmeier plots were installed, with an area of 22 x 4 m. The treatments utilized were the following: (i) tillage with machinery and operation down hill and burning of the grassland (MAQ); (ii) tillage with machinery and operation down and without burning of grassland between lines of crop (MANQ); (iii) tillage with animal traction and following the natural contour of the hill, strip cropping grass each 7 m (AA); and minimum tillage, (CM). Heavy metals concentration were also determined in the samples of sediments and water from the main Caetés watershed stream. The highest losses of heavy metals by erosion were in the MAQ treatment. The bottom stream sediments showed an increase in the total concentration of Cd, Ni, Pb, Zn and Mn, according to the sampling position, upstream and downstream, showed Cd, Mn and Pb concentration above the maximum limits established for tap water. The results obtained in this work allow to conclude that the intensive use of agrochemistries associated the high soil losses by erosion can determine serious risks of contamination of the water from the main stream in Caetés watershed that is used by the animals and for irrigation.

Key Words: contamination of soils, heavy metals, sediments, water, soil tillage methods, erosion.

INTRODUÇÃO

A aplicação de insumos agrícolas aos solos e culturas tornou-se uma prática comum na agricultura. Os principais objetivos do uso desses agroquímicos são o aumento do suprimento de nutrientes e correção do pH do solo (fertilizantes e corretivos) e a proteção das lavouras através do controle de patógenos e pragas (pesticidas). Essas práticas podem, entretanto, causar degradação química do solo, como resultado da acumulação de elementos e/ou compostos em níveis indesejáveis.

Como os fertilizantes não são suficientemente purificados durante o processo de manufatura, por razões econômicas, eles geralmente contêm diversas impurezas, entre elas os metais pesados (Amaral Sobrinho *et al.* 1992). Esses metais também, frequentemente, fazem parte dos componentes ativos dos pesticidas (Frank *et al.* 1976), e portanto, segundo vários autores adição desses elementos nos solos agrícolas é causada pelo uso repetido e excessivo de fertilizantes, pesticidas metálicos, e resíduos orgânicos (Kabata-Pendias &

Pendias, 1984; Tiller, 1989; Alloway, 1990; Blume & Brümmer, 1991; Gimeno-Garcia *et al.* 1996).

Segundo Van Put *et al.* (1994), os metais pesados presentes no material de solo perdido por erosão, quando atingirem cursos d'água, poderão ser liberados com mudanças de certas condições físico químicas do meio como: pH, potencial de oxirredução e força iônica. Esses pesquisadores consideram que os processos de oxirredução e o pH são os mais importantes nas mudanças de solubilidade desses metais adsorvidos na superfície de óxidos de Fe e Mn, que são fases do solo passíveis de sofrer redução, podendo serem liberados ao sofrerem mudanças no potencial redox, tornando-se, por isso, perigosas nessas condições redutoras (Pardo *et al.*, 1990). Entretanto, a solubilidade dos metais pesados existentes nos sedimentos de rios, ao serem depositados na superfície do solo, dependerá da facilidade com que esses metais possam sofrer remobilização. Portanto, sob condições de oxidação a solubilidade dos metais pesados dos sedimentos de rios pode ser reduzida, ocorrendo mudanças através da

passagem gradual desses elementos ligados a sulfetos metálicos para carbonatos, oxihidróxidos, óxidos ou silicatos. As frações trocável e ligado a carbonato, poderão liberar os metais mais facilmente por efeito da diminuição do pH (Alloway, 1990).

O município de Paty do Alferes, localizado na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, tem, exclusivamente, a agricultura como atividade econômica. Lá são produzidos cerca de 40% de todo o tomate do Estado do Rio de Janeiro e um grande percentual de outras olerícolas, tais como: repolho, pepino, vagem, pimentão, etc. Na última década, apesar dos altos investimentos, a produção agrícola vem decrescendo devido a problemas como: desmatamento ocorrido no decorrer dos anos; utilização de práticas não adequadas às condições edafoclimáticas; realização de 90% das atividades agrícolas em encostas com declividade média de 45%, e com preparo do solo feito morro abaixo, sem utilização de práticas conservacionistas. O uso abusivo e indiscriminado de pesticidas (inseticidas, fungicidas, herbicidas e outros) pode ter concorrido para o desequilíbrio do ecossistema, aumentando assim a incidência de pragas e doenças (Gravena *et al.* 1998).

Ramalho (1996), avaliando a influência da topografia e do uso agrícola sobre o acúmulo de metais pesados na microbacia de Caetés, município de Paty do Alferes, verificaram nas áreas que vêm sendo exploradas com olericultura, a cerca de 15 anos, que a declividade teve um efeito marcante na acumulação desses metais. As menores concentrações desses elementos foram encontradas nas topossequências de pendente curta e maior declividade. Esses pesquisadores levantaram a hipótese de que a erodibilidade das áreas de maior declividade tinha uma grande influência na menor acumulação, em função das maiores perdas desses metais por erosão.

Adoção de práticas de preparo do solo pouco recomendáveis para áreas susceptíveis à erosão associada a aplicação de elevada quan-

tidade de agroquímicos podem resultar em fortes impactos ao ambiente. A perda de solo por erosão poderá, dessa forma, contribuir para a contaminação dos corpos d'água que são utilizados na microbacia como fonte de água para os animais e irrigação. Sistemas de preparo do solo que reduzam as perdas por erosão deverão também diminuir os riscos de contaminação dos corpos d'água com metais pesados.

Diante do diagnóstico desses problemas esse trabalho teve os seguintes objetivos: avaliar a influência do tipo de preparo do solo na quantidade de metais pesados perdidos por erosão e na distribuição desses elementos nas diferentes formas químicas; e avaliar a contaminação do solo, água e sedimentos por metais pesados na microbacia de Caetés (Paty do Alferes-RJ).

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho utilizou-se de um experimento desenvolvido por Kunzmann *et al.* (1998), com o auxílio da EMBRAPA/CNPS. O experimento foi conduzido em parcelas do tipo Wischmeier, instaladas numa área da microbacia de Caetés em 1995, sobre solo Podzólico Vermelho-Amarelo latossólico (Udult), textura argila arenosa/argilosa com declividade em torno de 60%, no município de Paty do Alferes-RJ, para avaliar, em sucessivos cultivos, perdas de solo causadas pelas chuvas. As culturas utilizadas, épocas de plantio e colheita, perdas de solo por parcela, e os insumos agrícolas utilizados com suas respectivas quantidades aplicadas, desde o início do experimento, estão apresentados no quadro 1. No quadro 2 verifica-se as quantidades dos metais Zn, Cd, Pb, Mn e Ni adicionados nos quatro ciclos de cultivo, desde o início do experimento, calculados com base nas concentrações dos metais pesados nos insumos utilizados (Quadro 3) e nas quantidades aplicadas em cada ciclo (Quadro 1).

Os tratamentos utilizados foram:

(i) MAQ: aração com trator morro abaixo e restos vegetais queimados (preparo típico da região);

(ii) MANQ: aração com trator morro abaixo e restos vegetais não queimados;

(iii) AA: aração com tração animal em nível, faixas de capim colônio a cada 7 m, e

(iv) CM: cultivo mínimo com preparação de covas em nível.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições totalizando 12 unidades experimentais. Neste trabalho os tratamentos serão designados utilizando as siglas correspondentes para identificar cada um deles.

As adubações e os controles fitossanitários realizados foram os mesmos em todos os tratamentos, e para este estudo, foi monitorada apenas as perdas de metais pesados ocorridas durante o ciclo do pepino (*Cucumis sativus* L.).

Coletou-se, em todos os tratamentos,

antes do plantio e depois da colheita, 20 amostras simples para formar uma amostra composta de terra da camada arável (0–20 cm). Essa amostra foi analisada para metais pesados utilizando a metodologia descrita em Amaral Sobrinho *et al.* (1998).

O solo e água perdidos por erosão foram armazenados em dois tanques coletores, conectados em série, e instalados no final de cada parcela. Após cada chuva os sedimentos armazenados foram homogeneizados, o volume anotado, uma alíquota de volume conhecido foi coletada, seca em estufa com circulação de ar forçada a 60°C, e o material de solo pesado e a quantidade perdida por erosão calculada. Ao final do ciclo do pepino as amostras, de cada parcela, coletadas após cada chuva, foram misturadas em quantidades proporcionais as perdas totais calculadas no período, obtendo-se uma amostra composta de material perdido por erosão por parcela.

QUADRO1. Resumo das culturas utilizadas, épocas de plantio e colheita, perdas de solo por tratamento, e os insumos agrícolas utilizados e as suas quantidades aplicadas, desde o início do experimento

Cultura	Período	Insumos	Quantidade aplicada kg ha ⁻¹	Preparo do solo	Perda de solo t ha ⁻¹
Tomate	Out.95	esterco de curral	26200	MAQ	5,54
		cama de ave	7500	MANQ	1,93
		torta de mamona	1670	AA	0,18
		termof. Yoorin	700	CM	0,11
	Jan 96	KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	401		
		Captan	3		
		Mancozeb	29		
		Tamaron BR	5		
Vagem	Jan.96	esterco de curral	46000	MAQ	6,07
		cama de ave	2500	MANQ	1,10
	Mai 96	termof. Yoorin	700	AA	0,58
		KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	600	CM	0,08
Repolho	Ago.96	esterco de curral	11000	MAQ	1,32
		cama de ave	3000	MANQ	0,35
	Nov 96	termof. Yoorin	445	AA	0,44
		KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	468	CM	0,22
Pepino	Dez.96	esterco de curral	40000	MAQ	64,00
		torta de mamona	2000	MANQ	44,70
	Mar 97	termof. Yoorin	800	AA	15,01
		KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	140	CM	8,38

Fonte: Kunzmann, et al. (1998)

Após a secagem, as amostras de solo coletadas e as perdidas por erosão foram destorroadas, homogeneizadas e passadas através de uma peneira de 2 mm, sendo em seguida trituradas em almofariz de ágata e guardadas em sacos plásticos para análise.

Avaliou-se os teores de metais pesados nos sedimentos de fundo do córrego principal, que drena a microbacia de Caetés. Foram coletadas 30 subamostras de volume de 10 cm³, a 20 cm de profundidade, no mês de março de 1997, para compor cada amostra composta, em três repetições, à montante (córrego 1) e à jusante (córrego 2) da área agrícola atual, e no açude onde desemboca esse córrego. O preparo das amostras de sedimentos foi idêntico ao adotado para amostras de solo. Próximo aos pontos onde foram coletados os sedimentos de fundo, retiraram-se amostras de água que constaram de 10 subalíquotas de volume de 100 cm³ para compor uma amostra composta de 1 litro de água, que foram preservadas adicionando-se 5,0 mL de HNO₃ (65%) (FEEMA, 1979). Para análise dos teores totais de metais pesados, 25 mL de água de cada amostra foi centrifugada a 10.000 rpm, por 20 minutos e, posteriormente,

filtrado em “milipore” de diâmetro de 0,45 µm (FEEMA, 1979), para separação das partículas em suspensão.

Nas amostras de solos e material de solo perdido por erosão, dos quatro tratamentos, e nos sedimentos de fundo coletados no córrego da microbacia determinou-se o conteúdo total de metais pesados, através de digestão nitroperclórica, utilizando bloco de digestão e mistura de HNO₃ + HClO₄ (Tedesco *et al.*, 1997). Nos fertilizantes, adubos orgânicos, herbicidas, e fungicidas utilizados no experimento determinou-se os teores totais adotando-se o mesmo procedimento.

Os metais Pb, Ni, Zn e Mn por apresentarem as concentrações mais elevadas nos agroquímicos utilizados na microbacia (Quadro 3), e o Cd pela sua alta toxicidade foram selecionados para avaliação nas amostras de solo, sedimentos de fundo e água.

A análise granulométrica nas amostras de solos coletadas antes do plantio e no material de solo perdido por erosão foi realizada utilizando o método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

QUADRO 2. Adição total de metais pesados em cada ciclo de cultura

Ciclo	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
g ha ⁻¹					
Tomate	1763	303	5010	6506	9993
Vagem	2563	363	7013	6878	13046
Repolho	797	144	2011	3121	4564
Pepino	2294	335	5839	6367	11848
Total	7417	1145	19873	22872	39451

Com o objetivo de se determinar as frações com as quais o Zn, Cd, Pb, Mn e Ni se encontravam predominantemente ligados no material de solo perdido por erosão efetuou-se a extração seqüencial dos mesmos com H₂O, NaNO₃, NH₂OHHCl (cloridrato de hidroxilamina) 0,1 mol L⁻¹, NH₂OH HCl 1 mol L⁻¹ e H₂O₂, segundo Keller & Védý (1994), conforme esquema apresentado na figura 1.

As concentrações de metais pesados nos

extratos da digestão de solos, sedimentos, e agroquímicos, da extração seqüencial e na água, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, empregando-se chama de ar acetileno e um equipamento VARIAN AA600, sem correção do background.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Programa Estatístico SAEG 5.0. O procedimento adotado para comparação de médias foi o teste Tukey, ao nível de 5%.

QUADRO 3. Conteúdo de metais pesados nos fertilizantes, adubos, herbicidas e fungicidas utilizados no experimento.

Produto	Pb	Cd	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Cr
KCl+(NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	11,0	77,0	8,2	5,8	472,0	130,2	2,4	24,2
Termof. Yoorin	67,2	4,6	3365,1	11,7	2504,8	335,6	44,7	9,3
Captan	116,7	7,2	222,9	10,3	315,3	196,4	156,6	32,6
Mancozeb	110,5	7,7	186,8	14,6	223,8	4,4	145,7	46,7
Cama de ave	128,4	8,2	221,4	8,8	234,2	20,3	76,7	52,7
Torta de mamona	122,4	7,7	217,3	8,2	180,6	47,8	138,9	65,5
Esterco de curral	144,6	7,4	218,0	7,1	98,4	47,8	146,9	75,5
Tamaron BR	50,3	75,1	7,1	3,6	9,1	111,0	2,9	38,6
Kasugamycin clorh.	38,4	3,3	5,4	1,8	5,5	37,5	2,8	55,8
Parathion metil	26,1	4,1	15,8	2,0	1,3	18,7	3,3	74,3
Permethrina	45,9	5,2	8,1	2,6	1,9	6,8	5,3	121,1

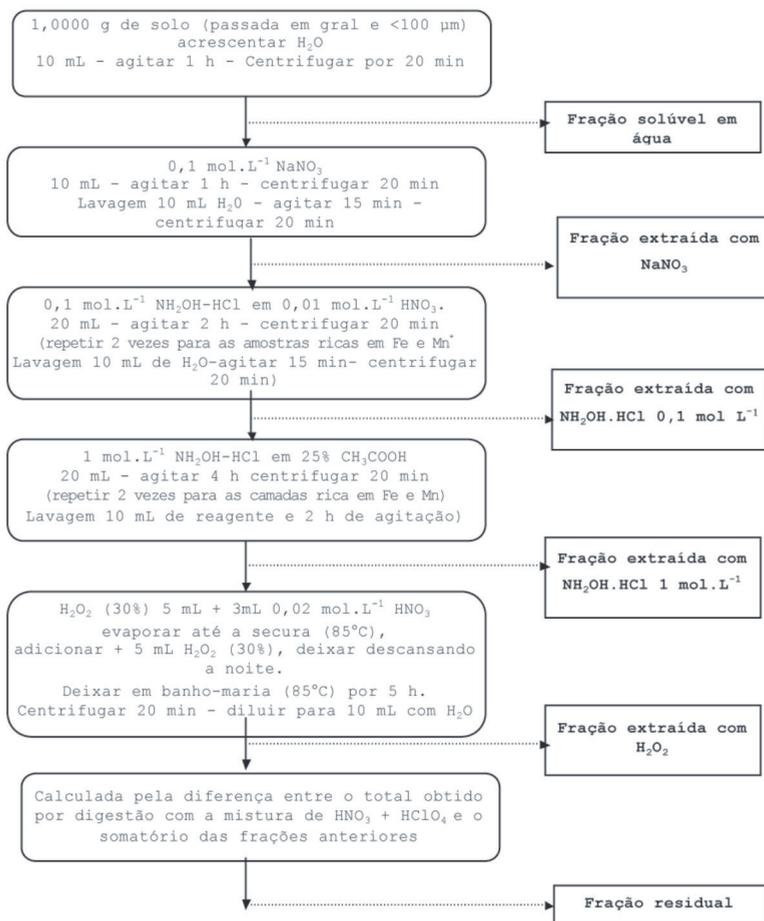


FIGURA 1. Esquema de Extração Sequencial de Keller & Védý (1994)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração total de Zn, Cd, Pb, Mn e Ni nas amostras de solo coletadas antes do plantio e depois da colheita sob os quatro sistemas de preparo é apresentada no quadro 4. Verifica-se que as concentrações mais elevadas desses elementos, antes do plantio, foram encontradas no tratamento CM. Como a quantidade de metais pesados aplicada através dos agroquímicos utilizados, durante os ciclos de tomate, vagem e repolho (Quadro 2) foi a mesma nos quatro sistemas de preparo do solo, os teores mais altos podem ser explicados pelas menores perdas de solo por erosão observadas nesse tratamento (Quadro 1). Quando se compara a concentração antes do plantio com depois da colheita, observa-se no tratamento MAQ, típico da região, redução significativa nos teores de Cd, Pb, Mn e Ni. Essa redução poderia ter ocorrido em função de perdas por lixiviação e/ou por erosão e remoção pela cultura do pepino. Como os metais pesados formam complexos muito estáveis (complexos de esfera interna) com grupos funcionais hidroxilas existentes na superfície de óxidos, oxihidróxidos, hidróxidos de Fe e Mn e caulinita (Sposito, 1989), geralmente, nos solos intemperizados, apresentam baixa mobilidade, acumulando-se na camada superficial do solo

(Amaral Sobrinho *et al.* 1998). Nesse sentido, como resultado da elevada perda de solo por erosão ocorrida no sistema de preparo MAQ, no ciclo do pepino (Quadro 1), poderia levar ao empobrecimento de metais pesados acumulados na camada superficial (0-20 cm). Esses resultados corroboram com os obtidos por Ramalho (1996), em áreas com mais de 15 anos de olericultura na microbacia de Caetés, onde observaram na topossequência de menor declividade teores mais elevados desses metais quando comparados com a de maior declividade, justificando esses resultados pela maior erodibilidade das áreas mais declivosas.

Nos sistemas de preparo MANQ e AA (exceto para Cd) houve acumulação de metais pesados, i.e., os teores foram mais elevados após a colheita, demonstrando, possivelmente, que a quantidade removida do solo pela absorção, e principalmente por erosão (Quadro 1), foi inferior a aplicada através dos agroquímicos (Quadro 2). Observa-se que os teores de Zn, Mn e Pb mais elevados no solo, ocorreram em função da maior quantidade aplicada através dos agroquímicos ricos nesses metais (Quadros 2 e 3). No sistema de preparo CM não houve alteração significativa entre as concentrações avaliadas antes e depois da colheita, demonstrando uma condição de equilíbrio entre os ganhos e perdas de metais pesados.

QUADRO 4. Concentração total de metais pesados em amostras de solo coletadas antes do plantio e depois da colheita do pepino nos quatro sistemas de preparo. Média de 3 repetições ⁽¹⁾.

	Zn		Cd		Pb		Mn		Ni	
	Preparo do solo									
	AP ⁽²⁾	DC ⁽³⁾	AP	DC	AP	DC	AP	DC	AP	DC
	mg kg ⁻¹									
MAQ	329bB	394bA	3,6aA	1,9bB	32,3aA	25,0bB	48,0aA	39,0bB	6,1bA	4,5bB
MANQ	15,6cB	40,3bA	1,6bB	2,8aA	23,5bB	31,6aA	24,9cB	37,3bA	3,9cB	7,4aA
AA	38,8bB	41,89bA	2,1bA	2,6aA	28,bB	31,7aA	31,4bB	38,2bA	6,2bB	8,2aA
CM	46,9aA	47,88aA	3,2aA	2,5aB	33,0aA	28,9bA	47,3aA	46,7aA	8,6aA	9,5aA

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e pela mesma letra minúscula, na coluna, para cada elemento, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

⁽²⁾ amostra coletada no solo antes do plantio.

⁽³⁾ amostra coletada no solo depois da colheita

O quadro 5 apresenta a concentração de Zn, Cd, Pb, Mn e Ni total e nas diferentes formas químicas no material de solo perdido por erosão coletados em cada sistema de preparo durante o ciclo do pepino. Verifica-se, de uma maneira geral, que a concentração total desses metais no material perdido por erosão (Quadro 5) foi inferior a analisada antes do plantio e depois da colheita (Quadro 4). No tratamento MAQ observa-se, para todos os elementos, concentrações totais maiores quando compara-

das com os outros tratamentos, e os metais que apresentaram uma maior concentração no material de solo perdido por erosão são os mesmos que tinham uma elevada concentração no solo antes do plantio (Quadro 4). Esses resultados vêm ratificar a hipótese feita anteriormente, onde a perda de Cd, Ni, Pb, e Mn por erosão, contribuiu para redução da concentração desses elementos no solo depois da colheita do pepino.

QUADRO 5. Concentração de metais total e nas diferentes formas químicas no material de solo perdido por erosão, coletado durante o ciclo do pepino, em função do sistema de preparo do solo. Média de 3 repetições (1)

Preparo do solo	H ₂ O	NaNO ₃	NH ₂ OH HCl 0,1 mo l ⁻¹	Frações		H ₂ O ₂	Residual	Total
				NH ₂ OH HCl 1,0 mo l ⁻¹	MG kg ⁻¹			
				Zinco				
MAQ	0,64 ^a	1,98a	8,53a	5,56a	8,96a	21,70a	47,37a	
MANQ	0,31c	0,69b	3,67b	2,56b	3,98c	10,39c	21,61c	
AA	0,57a	1,34a	7,65a	4,42a	6,59b	16,06b	36,63b	
CM	0,44b	0,76b	6,20a	2,82b	4,88c	11,40c	26,50c	
				Cádmio				
MAQ	0,09 ^a	0,08a	0,01a	0,01a	0,03a	0,42a	0,64a	
MANQ	0,01b	0,01b	0,02a	0,02a	0,00b	0,04c	0,10c	
AA	0,03b	0,03b	0,01a	0,01a	0,01b	0,18b	0,27b	
CM	0,08 ^a	0,07a	0,01a	0,01a	0,04a	0,38a	0,59a	
				Chumbo				
MAQ	0,60 ^a	0,57a	1,67a	3,38a	2,11a	7,02a	15,34a	
MANQ	0,43b	0,42b	1,08b	2,17b	1,47b	4,83b	10,40b	
AA	0,62 ^a	0,63a	1,76a	3,54a	2,29a	3,94b	12,78b	
CM	0,43b	0,42b	1,58a	3,20a	1,87ab	3,47b	10,98b	
				Manganês				
MAQ	1,54b	2,03a	9,02a	1,85a	0,97a	9,67a	25,08a	
MANQ	1,25b	1,46b	5,09b	0,78b	0,51b	6,89b	15,97b	
AA	1,52b	1,68b	7,12ab	1,09b	0,71ab	8,52a	20,64a	
CM	2,23a	1,53b	8,14a	1,79a	0,94a	10,20a	24,83a	
				Níquel				
MAQ	0,03a	0,05a	0,02b	0,64a	0,50a	2,10a	3,34a	
MANQ	0,00b	0,00b	0,00b	0,01c	0,01c	0,04c	0,07c	
AA	0,05a	0,03ab	0,05a	0,73a	0,55a	2,33a	3,73a	
CM	0,04a	0,01b	0,04a	0,46b	0,36b	1,47b	2,39b	

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, para cada elemento, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

A concentração total dos metais pesados não permite uma avaliação completa do possível impacto ambiental, por isso para avaliação do seu potencial ecotóxico, realizou-se extração seqüencial nas amostras compostas do material de solo perdido por erosão coletados

durante o ciclo do pepino. Verifica-se, nos quatro sistemas de preparo, que os metais pesados estavam distribuídos, predominantemente, nas frações: residual, e extraídas com NH₂OH HCl (cloridrato de hidroxilamina). O Cd e o Mn apresentaram percentagens nas frações extraí-

veis com H_2O e $NaNO_3$ superiores ao dos outros elementos, o que dependendo do mau uso continuado desses solos e do acúmulo de metais pesados pelo uso intensivo de agroquímicos, poderia favorecer a contaminação da água e a introdução desses elementos na cadeia alimentar (Pardo *et al.*, 1990). Ramalho (1996), realizando extração seqüencial em amostras de solo da microbacia de Caetés, Paty do Alferes-RJ, encontrou em áreas onde a mais de 15 anos se desenvolve uma intensa atividade de olericultura, concentrações mais elevadas de Zn, Mn, Cd e Pb do que em áreas onde a atividade é mais recente, verificando também que a maioria desses metais estavam ligados, predominantemente, as frações extraídas com NH_2OH HCl (cloridrato de hidroxilamina).

A composição granulométrica do solo antes do plantio e no material perdido por erosão nos quatro sistemas de preparo é apresentado no quadro 6. Verifica-se no material perdido por erosão redução da fração argila, com conseqüente aumento da fração areia, quando comparado com amostras retiradas antes do plantio. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins Filho & Silva (1985)

avaliando a composição granulométrica do material de solo perdido por erosão de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em Ubajara CE. Eles verificaram que as principais frações perdidas por erosão nesses solos corresponderam à fração silte e areia. Esses resultados poderiam explicar, em parte, a menor concentração desses metais no material perdido por erosão, em função da alta afinidade desses elementos pela fração argila (Alloway, 1990). O tratamento MAQ por causar um maior revolvimento do solo (Carvalho *et al.* 1997), apresentou um teor mais elevado da fração argila comparado com os outros tratamentos, dessa forma, contribuindo para a maior perda por erosão desses metais que interagem fortemente com a superfície de óxidos, oxihidróxidos, hidróxidos e caulinita presentes nessa fração do solo. Sabri *et al.* (1993), estudando a natureza dos sedimentos do rio Tigris, no Iraque, encontraram as mais altas concentrações de Zn, Pb e Ni, quando a argila era o componente dominante, entretanto, quando a areia ou silte eram os principais componentes, a concentração dos metais foi menor.

QUADRO 6. Composição granulométrica do solo antes do plantio e no material perdido por erosão nos quatro sistemas de preparo. Média de 3 repetições ⁽¹⁾

Preparo do solo	Areia Total		Areia Grossa		Silte		Argila Total	
	AP ⁽²⁾	Er ⁽³⁾	AP	Er	AP	Er	AP	Er
	————— g kg ⁻¹ —————							
MAQ	500aB	600aA	130aA	110aA	100aA	30bB	400bA	370aB
MANQ	460bB	600aA	140aA	120aA	100aA	60aB	440aA	340bB
AA	480bB	600aA	140aA	130aA	110aA	50aB	410bA	350bB
CM	480bB	660aA	130aA	80bB	120aA	50aB	400bA	290cB

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e letra minúscula, na coluna, para cada fração granulométrica, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

⁽²⁾ teor no solo antes do plantio.

⁽³⁾ teor no material de solo perdido por erosão.

No sistema de preparo MAQ, concentrações mais elevadas de Zn, Cd, Pb, Mn e Ni no material de solo perdido por erosão (Quadro 5) juntamente, com a maior quantidade de solo perdida (Quadro 1), determinaram quantidades elevadas de perdas por erosão desses metais, como pode ser observado no Quadro 7. A perda de Zn, Cd, Pb, Mn, e Ni no tratamento MAQ, foi cerca de 14, 8, 11, 8 e 11 vezes superior, respectivamente ao sistema CM. Os sistemas de preparo MANQ e AA também apresentaram perdas bem menores quando comparadas ao sistema típico de preparo do solo da região MAQ. É importante ressaltar que essas quantidades referem-se apenas ao ciclo do pepino de aproximadamente 3 meses. Se considerarmos que na região o período de maior precipitação concentra-se de setembro a março (Marques *et al.* 1998), as perdas poderiam ser mais eleva-

das em um ano agrícola completo da região sob esse sistema de preparo do solo e quantidades de insumos utilizados. Um outro dado que deve ser considerado é a percentagem desses metais nas frações extraíveis com H₂O e NaNO₃ do material perdido por erosão, consideradas de maior mobilidade e biodisponibilidade (Keller & Védý, 1994). A soma das percentagens de Zn, Cd, Pb, Mn, e Ni nessas frações é de 5,6, 26,5, 7,6, 14,2, e 2,4 %, correspondendo a uma perda nas mesmas de 170, 11, 75, 228 e 5 g ha⁻¹, respectivamente. Não se pode descartar a possibilidade dos metais ligados as frações extraíveis com cloridrato de hidroxilamina (predominante), atingirem o ambiente aquático. Sob condições redutoras, poderão ter a solubilidade aumentada e conseqüentemente maior o impacto das perdas desses metais por erosão (Van Put *et al.* 1994).

QUADRO 7. Perda total de metais pesados por erosão, no ciclo do pepino, nos quatro sistemas de preparo do solo. Média de 3 repetições ⁽¹⁾.

Preparo	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
MAQ	3033 a (132) ⁽²⁾	40 a (11,9)	982 a (16,81)	1604 a (25,19)	214 a (1,8)
MANQ	965 b (42)	4 b (1,2)	465 b (7,96)	714 b (11,21)	3 d (0,02)
AA	550 c (23,98)	4 b (1,2)	192 c (3,29)	309c (4,80)	56 b (0,47)
CM	222 d (9,67)	5 b (1,5)	93 d (1,6)	208 d (3,27)	20 c (0,17)

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

⁽²⁾ Os números entre parênteses representam a percentagem de perda do total do metal aplicado no ciclo do pepino.

O Quadro 7 também fornece informações da percentagem do total do metal aplicado no ciclo do pepino que foi perdida por erosão. Verifica-se para Zn perdas superiores ao total aplicado no ciclo do pepino (Quadro 2) no tratamento MAQ. O CM minimizou as perdas dos metais pesados por erosão, sendo que cerca de apenas 10 % do total aplicado desse ele-

mento foi perdido, reduzindo os riscos de contaminação da água do córrego que atravessa a microbacia. Esses resultados demonstram, de forma inequívoca, que a utilização na microbacia de um outro sistema de preparo do solo como o cultivo mínimo ou aração com tração animal, em nível, levaria a uma redução sensível dos impactos ao ambiente pelas perdas por

erosão.

A análise dos sedimentos de rios tem sido usada como indicador da poluição por metais pesados devido a sua habilidade de integrar as descargas liberadas no agroecossistema (Lacerda, 1982; Bubb & Lester, 1994). Observase no quadro 8 em relação aos sedimentos, que as amostras retiradas no córrego 2, na posição de maior influência das áreas cultivadas, assim como as amostras coletadas no açude, apresentaram aumentos estatisticamente significativos dos teores de Zn, Cd, Pb, Mn, e Ni quando comparadas com as amostras retiradas do córrego na posição à montante da área de olericultura (córrego 1), com destaque para os aumentos nos teores de Zn e Mn com incrementos de quase 200%. Os teores totais de metais pesados nas amostras de água (Quadro 8), mostram valores significativamente mais elevados de Zn, Cd, Pb e Mn nas amostras coletadas à jusante da área de olericultura atual do

córrego da microbacia (córrego 2) e também no açude, tendo um comportamento semelhante ao observado para os sedimentos. As concentrações de Cd, Pb e Mn quando comparadas com os padrões de potabilidade de água estabelecidos pelo Ministério da Saúde (1990) ficaram acima do permitido, mostrando enriquecimento dos teores desses metais de acordo com o local de coleta. Portanto, os resultados encontrados para sedimentos e água, estão em conformidade com os obtidos das quantidades perdidas de Zn, Mn e Pb por erosão, principalmente no sistema de preparo MAQ, típico da região, demonstrando, que o uso intensivo de agroquímicos contendo metais pesados, associados às elevadas perdas por erosão podem determinar sérios riscos de contaminação da água do córrego da microbacia que é utilizada pelos animais e para irrigação.

QUADRO 8. Teores totais de Zn, Cd, Pb, Mn, e Ni, em amostras de sedimentos de fundo e da água do córrego da microbacia de Caetés/ Paty do Alferes-RJ. Média de 3 repetições ⁽¹⁾

LOCAL	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
Sedimentos					
—————mg kg ⁻¹ —————					
Córrego 1 ⁽²⁾	25,9c	0,26c	13,92b	29,68c	7,33c
Córrego 2 ⁽³⁾	449,4a	0,62b	29,42a	360,5a	14,38b
Açude ⁽⁴⁾	66,42b	0,82a	29,02a	116,1b	15,37a
Água					
—————mg L ⁻¹ —————					
Córrego 1	0,34 c	0,11 b	0,02 c	0,23 c	0,65 a
Córrego 2	0,90 b	0,14 a	0,08 a	0,72 a	0,66 a
Açude	1,70 a	0,09 c	0,06 b	0,33 b	0,46 b
CrMm(5)	5,0	0,005	0,05	0,1	—

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

⁽²⁾ amostras de água e sedimentos coletadas à montante da área agrícola atual de olericultura.

⁽³⁾ amostras de água e sedimentos coletadas à jusante da área agrícola atual de olericultura.

⁽⁴⁾ amostras de água e sedimentos coletadas no açude.

⁽⁵⁾ Concentrações máximas permitidas para água potável segundo o Ministério da Saúde, (1990).

CONCLUSÕES

1. O sistema de preparo aração morro abaixo e restos vegetais queimados (MAQ), típico da região, por provocar maiores perdas por erosão, acarretou perdas elevadas de Cd, Ni, Pb, Zn e Mn, entretanto, os sistemas de preparo cultivo mínimo (CM) e aração com tração animal (AA) reduziram as perdas por erosão desses metais.

2. Os resultados obtidos demonstram que a utilização na microbacia de um outro sistema de preparo do solo como o cultivo mínimo ou aração com tração animal, em nível, levaria a uma redução sensível dos impactos ao ambiente.

3. O uso intensivo de agroquímicos associados as elevadas perdas de solo por erosão podem determinar sérios riscos de contaminação da água do córrego da microbacia e é utilizada pelos animais e para irrigação.

Parte da tese de mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica (RJ). Pesquisa realizada com recursos da União Européia e Ciamb PADCT/FINEP.

REFERENCIAS

- Alloway, B.J. (1990) The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J. ed. Heavy metals in soils. New York, John Wiley, p. 29-39.
- Amaral Sobrinho, N.M.B.; Costa, L.M.; Oliveira, C. & Velloso, A.C.X. (1992) Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. R. Bras. Ci. Solo, 16: 271-276.
- Amaral Sobrinho, N.M.B.; Velloso, A.C.X.; Costa, L.M.; & Oliveira, C. (1998) Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. R. Bras. Ci. Solo, 22: 345-353.
- Blume, H.P. & Brümmer, G. (1991) Predictions of heavy metals behavior in soil by means of simple field test. Ecotoxicology and Environmental safety, 22: 164-174.
- Bubb, J.M. & Lester, J.N. (1994) Anthropogenic heavy metal inputs to lowland river systems, a case study. The river Stour, U.K. Water and Soil Pollut., 78: 279-296.
- Carvalho, M.P. (1997) Cataneo, A. & Lombardi Neto, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um podzólico vermelho amarelo de Pindorama. R. Bras. Ci. Solo, 21: 279-286.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2a ed. Rio de Janeiro. 212p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - FEEMA (1976) Manual do meio ambiente. Rio de Janeiro. 126p.
- Frank, R.; Ishida, K. & Suda, P. (1976) Metals in agricultural soils of Ontario. Can. J. Soil Sci., 56: 181-196.
- Gimeno Garcia, E.; Andreu, V.; & Boluda, R. (1996) Heavy metals incidence in the application of organic fertilizers and pesticides to rice farming soils. Environ. Pollut., 92: 19-25.
- Gravena, S.; Benvenega, S.; Abreu, H.; Groppo, B.; Zander, R.; Klein-Gunnewiek, R. (1998) Manejo Ecológico de pragas e doenças do tomate envarado. In: conferência internacional de agricultura sustentável em regiões montanhosas tropicais e subtropicais com especial referência para a América Latina, Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro,

- 53p.
- Kabata Pendias, A. & Pendias, H. (1984) Trace elements in soils and plants. Boca Raton, Florida, CRC Press, 315p.
- Keller, C. & Védy, J.C. (1994) Distribution of copper and cadmium fractions in two forest soils. *J. Environ. Qual.*, 23: 987-999.
- Kunzmann, M.; Prinz, D.; Palmieri, F.; Núñez, J.E.V.; Gouveia, R. & Coelho, R.G. (1998) Evaluation of soil losses for different soil management practices in the municipality of Paty do Alferes, RJ - an aspect of the DESUSMO project. In: conferência internacional de agricultura sustentável em regiões montanhosas tropicais e subtropicais com especial referência para a América latina. Rio de Janeiro, 1998. Resumos. Rio de Janeiro, 29p.
- Lacerda, L.D. (1982) Heavy metal pollution in soil and plants of the Irajá river estuarine area in the Guanabara bay. *R. Bras. de Biologia*, 42: 89-93.
- Marques, J. & Pinheiro, F.M.A. (1998) Características hidrometeorológicas de Paty do Alferes, RJ. In: conferência internacional de agricultura sustentável em regiões montanhosas tropicais e subtropicais com especial referência para a América latina. Resumos. Rio de Janeiro, 31p.
- Martins Filho, E.C. & Silva, J.R.C. (1985) Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 9: 175-178.
- Ministério da Saúde. Brasil (1990) Normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano. Portaria 6M/36/1990. MS. Brasília.
- Pardo, R.; Barrado, E.; Perez, L. & Vega, M. (1990) Determination and speciation of heavy metals in sediments of the Pisuerga river. *Water Res.*, 24: 373-379.
- Ramalho, J.F.G. (1996) Metais pesados em solos com diferentes usos agrícolas no Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 160p. (Tese de Doutorado)
- Sabri, A.W.; Rasheed, K.A. & Kassim, T.I. Heavy metals in the water, suspended solids and sediments of the river Tigris impoundment at Samarra. *Water Res.*, 27: 1099-1103, 1993.
- Sposito, G. The chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1989. 234p.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H. & Volkweiss, S.J. (1997) Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p.
- Tiller, K. G. (1989) Heavy metals in soils and their environmental significance. *Adv. Soil Sci.*, 9: 113-142.
- Van Put, A.; Van Grieken, R. Wilken, R.D. & Hudec, B. (1994) Geochemical characterization of suspended matter and sediment samples from the Elbe river by EPXMA. *Water Res.*, 28: 643-655.