

CONSEQÜÊNCIAS DE DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO SOBRE A CONTAMINAÇÃO DO SOLO, SEDIMENTOS E ÁGUA POR METAIS PESADOS⁽¹⁾

J. E. V. NÚÑEZ⁽²⁾, N. M. B. AMARAL SOBRINHO⁽³⁾,
F. PALMIERI⁽⁴⁾ & A. A. MESQUITA⁽⁵⁾

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: (a) aração com trator morro abaixo e queimado (MAQ); (b) aração com trator morro abaixo não queimado com restos de vegetação natural entre as linhas (MANQ); (c) aração com tração animal em nível, faixas de capim-colonião a cada 7,0 m (AA), e (d) cultivo mínimo, com preparo de covas em nível (CM). Avaliaram-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 apresentou 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 e as elevadas perdas de solo por erosão podem acarretar sérios riscos de contaminação da água do córrego da microbacia que é utilizada pelos animais e para irrigação.

Termos de indexação: erosão, agroquímicos, Cd, Ni, Pb, Zn, Mn.

⁽¹⁾ 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. Recebido para publicação em abril de 1998 e aprovado em junho de 1999.

⁽²⁾ Pesquisador do Instituto de Investigación Agropecuaria do Panamá (IDIAP). Apartado 58, Santiago, Província de Veraguas.

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). CEP 23851-970 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ).

⁽⁵⁾ Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

SUMMARY: *INFLUENCE OF DIFFERENT SOIL TILLAGE METHODS ON THE CONTAMINATION OF SOILS, SEDIMENTS AND WATER BY HEAVY METALS*

*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, Rio de Janeiro. The experiment was conducted from December 1996 to March 1997, and cucumber (*Cucumis sativus* L.) was the cultivated crop. Four Wichmeier plots were installed, with an area of 22 x 4 m. The following treatments were used: (a) tillage with machinery and operation down hill and burning of the grassland (MAQ); (b) tillage with machinery and operation down and without burning of grassland between lines of crop (MANQ); (c) tillage with animal traction and following the natural contour of the hill, strip cropping grass each 7 m (AA); and minimum tillage (CM). Heavy metal concentrations 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 allowed to conclude that the intensive use of agrochemicals associated with the high soil losses by erosion can determine serious risks of contamination of the water from the main stream in Caetés watershed, which is used by animals and for irrigation.*

Index terms: erosion, agrochemicals, Cd, Ni, Pb, Zn, Mn.

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 pelo controle de patógenos e pragas (agrotóxicos). Essas práticas podem, entretanto, causar degradação química do solo, como resultado da acumulação de elementos e, ou, compostos em níveis indesejáveis.

Os fertilizantes, como não são suficientemente purificados durante o processo de manufatura, por razões econômicas, geralmente contêm diversas impurezas, entre elas os metais pesados (Amaral Sobrinho et al., 1992). Esses metais, freqüentemente, fazem parte dos componentes ativos dos pesticidas (Frank et al., 1976), sendo, segundo vários autores, a adição desses elementos nos solos agrícolas 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, tais como: pH, potencial de oxirredução e força iônica. Segundo esses pesquisadores, 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 ser liberados ao sofrerem mudanças no potencial redox, tornando-se, por isso, perigosos 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, oxidróxidos, óxidos ou silicatos. As frações trocáveis e ligadas 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 grande percentual de outras olerícolas, tais como: repolho, pepino, vagem, pimentão, etc. Na última década, apesar dos altos investimentos, a produção agrícola

vem decrescendo em virtude de problemas, tais 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, verificou que, nas áreas exploradas com olericultura por cerca de 15 anos, a declividade teve um efeito marcante na acumulação desses metais. As menores concentrações desses elementos foram encontradas nas toposseqüências de pendente curta e maior declividade. Esse pesquisador levantou a hipótese de que a erodibilidade das áreas de maior declividade tinha grande influência na menor acumulação, considerando as maiores perdas desses metais por erosão.

A adoção de práticas de preparo do solo pouco recomendáveis para áreas susceptíveis à erosão e a aplicação de elevada quantidade 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 exposto, este trabalho pretendeu: 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

Neste trabalho, utilizou-se um experimento desenvolvido por Kunzmann et al. (1998), com o auxílio da Embrapa Solos. O experimento foi realizado em parcelas do tipo Wischmeier, instaladas numa área da microbacia de Caetés, em 1995, sobre Podzólico Vermelho-Amarelo latossólico 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, as épocas de plantio e colheita, as perdas de solo por

parcela e os insumos agrícolas com suas respectivas quantidades aplicadas, desde o início do experimento, encontram-se no quadro 1. No quadro 2, encontram-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: (a) MAQ: aração com trator morro abaixo e restos vegetais queimados (preparo típico da região); (b) MANQ: aração com trator morro abaixo e restos vegetais não queimados; (c) AA: aração com tração animal em nível, faixas de capim-colonião a cada 7 m, e (d) 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, foram monitoradas apenas as perdas de metais pesados ocorridas durante o ciclo do pepino (*Cucumis sativus* L.).

Coletaram-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 método descrito em Amaral Sobrinho et al. (1998).

O solo e a 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 às perdas totais calculadas no período, obtendo-se uma amostra composta de material perdido por erosão por parcela.

Após a secagem, as amostras de solo coletadas e as perdas 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.

Avaliaram-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

Quadro 1. Culturas utilizadas, épocas de plantio e colheita, perdas de solo por tratamento e insumos agrícolas com 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	Outubro 95 Janeiro 96	Esterco de curral	26.200	MAQ	5,54
		Cama de ave	7.500	MANQ	1,93
	Torta de mamona	1.670	AA	0,18	
	Termofosfato Yoorin	700	CM	0,11	
	KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	401			
	Captan	3			
	Mancozeb	29			
	Tamaron BR	5			
	Permetrina	2,5			
Parathion metil	25				
Vagem	Janeiro 96 Maio 96	Esterco de curral	46.000	MAQ	6,07
		Cama de ave	2.500	MANQ	1,10
	Termofosfato Yoorin	700	AA	0,58	
	KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	600	CM	0,08	
Repolho	Agosto 96 Novembro 96	Esterco de curral	11.000	MAQ	1,32
		Cama de ave	3.000	MANQ	0,35
	Termofosfato Yoorin	445	AA	0,44	
	KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	468	CM	0,22	
Pepino	Dezembro 96 Março 97	Esterco de curral	40.000	MAQ	64,00
		Torta de mamona	2.000	MANQ	44,70
	Termofosfato Yoorin	800	AA	15,01	
	KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	140	CM	8,38	

Fonte: Kunzmann et al. (1998).

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 L 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 foram centrifugados a 10.000 rpm, por 20 min, e, posteriormente, filtrados 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, por meio 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, determinaram-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).

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

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

Ciclo	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
g ha ⁻¹					
Tomate	1763	303	5.010	6.506	9.993
Vagem	2.563	363	7.013	6.878	13.046
Repolho	797	144	2.011	3.121	4.564
Pepino	2.294	335	5.839	6.367	11.848
Total	7.417	1.145	19.873	22.872	39.451

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

Produto	Pb	Cd	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Cr
	mg kg ⁻¹							
KCl + (NH ₄) ₂ SO ₄ (1:1)	11,0	77,0	8,2	5,8	472,0	130,2	2,4	24,2
Termofosfato 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

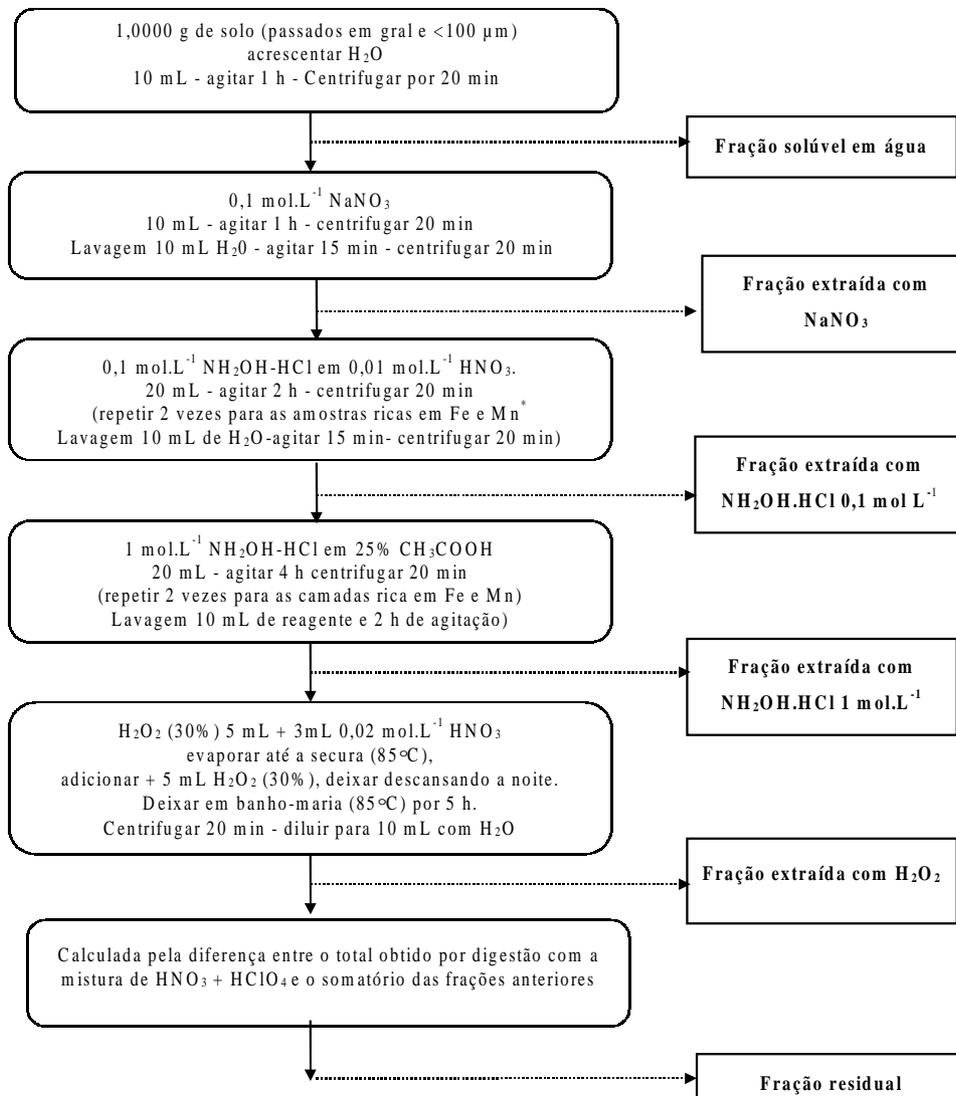


Figura 1. Esquema de Extração Sequencial de Keller & Védý (1994).

As concentrações de metais pesados nos extratos da digestão de solos, sedimentos e agroquímicos, da extração seqüencial e na água, foram determinadas 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 a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vê-se, no quadro 4, 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. As concentrações mais elevadas desses elementos, antes do plantio, foram encontradas no tratamento CM. Como a quantidade de metais pesados aplicada por meio 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).

Comparando a concentração antes do plantio com depois da colheita, observou-se no tratamento MAQ, típico da região, redução significativa nos teores de Cd, Pb, Mn e Ni. Essa redução poderia ser atribuída a perdas por lixiviação e, ou, por erosão e remoção pela cultura do pepino. Os metais pesados formam complexos muito estáveis (complexos de esfera interna) com grupos funcionais hidroxilas existentes na superfície de óxidos, oxidróxidos, hidróxidos de Fe e Mn e caulinita (Sposito, 1989) e, 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 concordam com os obtidos por Ramalho (1996), em áreas com mais de 15 anos de olericultura na microbacia de Caetés, onde se observaram na toposseqüência 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 à aplicada por meio dos agroquímicos (Quadro 2). Observou-se que os teores de Zn, Mn e Pb mais elevados no solo foram devidos à maior quantidade aplicada de 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 as perdas de metais pesados.

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, coletado em cada sistema de preparo durante o ciclo do pepino. De maneira geral, a concentração total desses metais no material perdido por erosão (Quadro 5) foi inferior à analisada antes do plantio e depois da colheita (Quadro 4). No tratamento MAQ, observaram-se, para todos os elementos, concentrações totais maiores, quando comparadas com as de outros tratamentos, e os metais que apresentaram maior concentração no material de solo perdido por erosão foram os que revelaram elevada concentração no solo antes do plantio (Quadro 4). Esses resultados vêm ratificar a hipótese feita anteriormente, ou seja, a

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⁽¹⁾

Preparo do solo	AP ⁽²⁾		DC ⁽³⁾		AP		DC		AP		DC									
	mg kg ⁻¹																			
MAQ	32,95	bB	39,42	bA	3,65	aA	1,90	bB	32,30	aA	25,00	bB	48,02	aA	39,02	bB	6,11	bA	4,55	bB
MANQ	15,58	cB	40,31	bA	1,56	bB	2,79	aA	23,50	bB	31,64	aA	24,87	cB	37,27	bA	3,98	cB	7,36	aA
AA	38,83	bB	41,89	bA	2,15	bA	2,64	aA	28,03	bB	31,72	aA	31,42	bB	38,15	bA	6,16	bB	8,20	aA
CM	46,95	aA	47,88	aA	3,16	aA	2,48	aB	33,06	aA	28,89	bA	47,27	aA	46,71	aA	8,61	aA	9,46	aA

⁽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 a 5%. ⁽²⁾ Amostra coletada no solo antes do plantio. ⁽³⁾ Amostra coletada no solo depois da colheita.

perda de Cd, Ni, Pb, e Mn por erosão contribuiu para redução da concentração desses elementos no solo depois da colheita do pepino.

A concentração total dos metais pesados não permite uma avaliação completa do possível impacto ambiental, por isso, para avaliar o seu potencial tóxico, realizou-se extração seqüencial nas amostras compostas do material de solo perdido por erosão, coletadas durante o ciclo do pepino. Verificou-se, nos quatro sistemas de preparo, que os metais pesados estavam distribuídos, predominantemente, nas frações residuais e extraídas com $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ (cloridrato de hidroxilamina). O Cd e o Mn apresentaram percentagens nas frações extraíveis com H_2O e NaNO_3 superiores às de 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 com mais de 15 anos de intensa atividade olerícola, concentrações mais

elevadas de Zn, Mn, Cd e Pb do que em áreas com atividade mais recente, verificando também que esses metais, em sua maioria, estavam ligados, predominantemente, às frações extraídas com $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ (cloridrato de hidroxilamina).

A composição granulométrica do solo antes do plantio e no material perdido por erosão nos quatro sistemas de preparo é apresentada no quadro 6. Verifica-se no material perdido por erosão redução da fração argila, com conseqüente aumento da fração areia. 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, considerando a alta afinidade entre esses elementos e a fração argila (Alloway, 1990). O tratamento MAQ, por causar maior revolvimento do solo (Carvalho et al., 1997), apresentou teor mais elevado da fração argila comparado com o de outros

Quadro 5. Concentração total de metais nas diferentes formas químicas no material de solo perdido por erosão no ciclo do pepino nos quatro sistemas de preparo⁽¹⁾

Preparo do solo	Frações							
	H_2O	NaNO_3	$\text{NH}_2\text{OH HCl}$ 0,1 mo l ⁻¹	$\text{NH}_2\text{OH HCl}$ 1,0 mo l ⁻¹	H_2O_2	Residual	Total	
mg kg ⁻¹								
Zinco								
MAQ	0,64 a	1,98 a	8,53 a	5,56 a	8,96 a	21,70 a	47,37 a	
MANQ	0,31 c	0,69 b	3,67 b	2,56 b	3,98 c	10,39 c	21,61 c	
AA	0,57 a	1,34 a	7,65 a	4,42 a	6,59 b	16,06 b	36,63 b	
CM	0,44 b	0,76 b	6,20 a	2,82 b	4,88 c	11,40 c	26,50 c	
Cádmio								
MAQ	0,09 a	0,08 a	0,01 a	0,01 a	0,03 a	0,42 a	0,64 a	
MANQ	0,01 b	0,01 b	0,02 a	0,02 a	0,00 b	0,04 c	0,10 c	
AA	0,03 b	0,03 b	0,01 a	0,01 a	0,01 b	0,18 b	0,27 b	
CM	0,08 a	0,07 a	0,01 a	0,01 a	0,04 a	0,38 a	0,59 a	
Chumbo								
MAQ	0,60 a	0,57 a	1,67 a	3,38 a	2,11 a	7,02 a	15,34 a	
MANQ	0,43 b	0,42 b	1,08 b	2,17 b	1,47 b	4,83 b	10,40 b	
AA	0,62 a	0,63 a	1,76 a	3,54 a	2,29 a	3,94 b	12,78 b	
CM	0,43 b	0,42 b	1,58 a	3,20 a	1,87 ab	3,47 b	10,98 b	
Manganês								
MAQ	1,54 b	2,03 a	9,02 a	1,85 a	0,97 a	9,67 a	25,08 a	
MANQ	1,25 b	1,46 b	5,09 b	0,78 b	0,51 b	6,89 b	15,97 b	
AA	1,52 b	1,68 b	7,12 ab	1,09 b	0,71 ab	8,52 a	20,64 a	
CM	2,23 a	1,53 b	8,14 a	1,79 a	0,94 a	10,20 a	24,83 a	
Níquel								
MAQ	0,03 a	0,05 a	0,02 b	0,64 a	0,50 a	2,10 a	3,34 a	
MANQ	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,01 c	0,01 c	0,04 c	0,07 c	
AA	0,05 a	0,03 ab	0,05 a	0,73 a	0,55 a	2,33 a	3,73 a	
CM	0,04 a	0,01 b	0,04 a	0,46 b	0,36 b	1,47 b	2,39 b	

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

tratamentos, contribuindo, dessa forma, para a maior perda por erosão desses metais que interagem fortemente com a superfície de óxidos, oxidróxidos, 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.

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 (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 às do sistema típico de preparo do solo da região MAQ. É importante ressaltar que essas quantidades referem-se apenas ao ciclo do pepino de aproximadamente três meses.

Considerando que, na região, o período de maior precipitação concentra-se de setembro a março (Marques et al., 1998), as perdas poderiam ser mais

elevadas em um ano agrícola completo da região sob esse sistema de preparo do solo e quantidades de insumos utilizados. Outro dado que deve ser analisado é a percentagem desses metais nas frações extraíveis com H_2O e $NaNO_3$ do material perdido por erosão, consideradas de maior mobilidade e biodisponibilidade (Keller & Vědy, 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 de 170, 11, 75, 228 e 5 $g\ ha^{-1}$, respectivamente. Não se pode descartar a possibilidade de os metais ligados às frações extraíveis com cloridrato de hidroxilamina (predominante) atingirem o ambiente aquático. Sob condições redutoras, poderão ter a solubilidade aumentada e, conseqüentemente, maior será o impacto das perdas desses metais por erosão (van Put et al., 1994).

O quadro 7 também fornece informações da percentagem do total do metal aplicado no ciclo do pepino que foi perdida por erosão. Observaram-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, tendo sido cerca de apenas 10% do total aplicado desse elemento perdido, reduzindo os riscos de contaminação da água do córrego que atravessa a

Quadro 6. Composição granulométrica do solo antes do plantio e no material perdido por erosão nos quatro sistemas de preparo do solo⁽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	500 aB	600 aA	130 aA	110 aA	100 aA	30 bB	400 bA	370 aB
MANQ	460 bB	600 aA	140 aA	120 aA	100 aA	60 aB	440 aA	340 bB
AA	480 bB	600 aA	140 aA	130 aA	110 aA	50 aB	410 bA	350 bB
CM	480 bB	660 aA	130 aA	80 bB	120 aA	50 aB	400 bA	290 cB

⁽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 a 5%. ⁽²⁾ Teor no solo antes do plantio. ⁽³⁾ Teor no material de solo perdido por erosão.

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

Preparo	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
	$g\ kg^{-1}$				
MAQ	3.033 a (132) ⁽²⁾	40 a (11,9)	982 a (16,81)	1.604 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)	309 c (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 a 5%. ⁽²⁾ Os números entre parênteses representam a percentagem de perda do total do metal aplicado no ciclo do pepino.

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)⁽¹⁾

Local	Zn	Cd	Pb	Mn	Ni
Sedimentos					
mg kg ⁻¹					
Córrego 1 ⁽²⁾	25,9 c	0,26 c	13,92 b	29,68 c	7,33 c
Córrego 2 ⁽³⁾	449,4 a	0,62 b	29,42 a	360,5 a	14,38 b
Açude ⁽⁴⁾	66,42 b	0,82 a	29,02 a	116,1 b	15,37 a
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
Concentração máxima ⁽⁵⁾	5,0	0,005	0,05	0,10	-

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 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 BRASIL,... Ministério da Saúde (1990).

microbacia. Esses resultados demonstram, de forma inequívoca, que a utilização na microbacia de 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 pela sua habilidade de integrar as descargas liberadas no agroecossistema (Lacerda et al., 1993; Bubb & Lester, 1994). No quadro 8, observou-se 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 comparados aos das 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) revelaram 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 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 os agroquímicos com 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.

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. A utilização na microbacia de 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 e 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.

LITERATURA CITADA

- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. New York, John Wiley, 1990. p.29-39.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C. & VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. R. Bras. Ci. Solo, 16:271-276, 1992.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; COSTA, L.M. & OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. R. Bras. Ci. Solo, 22:345-353, 1998.
- BLUME, H.P. & BRÜMMER, G. Predictions of heavy metals behavior in soil by means of simple field test. Ecotoxicol. Environ. Saf., 22:164-174, 1991.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano. Portaria 6M/36/1990. Brasília, 1990.
- BUBB, J.M. & LESTER, J.N. Anthropogenic heavy metal inputs to lowland river systems, a case study. The river Stour, U.K. Water Soil Poll., 78:279-296, 1994.
- CARVALHO, M.P.; 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, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - FEEMA. Manual do meio ambiente. Rio de Janeiro, 1979. 126p.
- FRANK, R.; ISHIDA, K. & SUDA, P. Metals in agricultural soils of Ontario. Can. J. Soil Sci., 56:181-196, 1976.
- GIMENO-GARCIA, E.; ANDREU, V. & BOLUDA, R. Heavy metals incidence in the application of organic fertilizers and pesticides to rice farming soils. Environ. Poll., 92:19-25, 1996.
- GRAVENA, S.; BENVENGA, S.; ABREU, H.; GROppo, B.; ZANDER, R.; KLEIN-GUNNEWIEK, R. 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, 1998. Resumos. Rio de Janeiro, 1998. p.53.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, CRC Press, 1984. 315p.
- KELLER, C. & VÉDY, J.C. Distribution of copper and cadmium fractions in two forest soils. J. Environ. Qual., 23:987-999, 1994.
- KUNZMANN, M.; PRINZ, D.; PALMIERI, F.; NÚÑEZ, J.E.V.; GOUVEIA, R. & COELHO, R.G. 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, 1998. p.29.
- LACERDA, L.D. Heavy metal pollution in soil and plants of the Irajá river estuarine area in the Guanabara bay. R. Bras. Biol., 42:89-93, 1982.
- MARQUES, J. & PINHEIRO, F.M.A. 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, Rio de Janeiro, 1998. Resumos. Rio de Janeiro, 1998. p.31.
- MARTINS FILHO, E.C. & SILVA, J.R.C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 9:175-178, 1985.
- PARDO, R.; BARRADO, E.; PEREZ, L. & VEGA, M. Determination and speciation of heavy metals in sediments of the Pisuerga river. Water Res., 24:373-379, 1990.
- RAMALHO, J.F.G. Metais pesados em solos com diferentes usos agrícolas no estado do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996. 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. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 174p.
- TILLER, K.G. Heavy metals in soils and their environmental significance. Adv. Soil Sci., 9:113-142, 1989.
- van PUT, A.; van GRIEKEN, R. WILKEN, R.D. & HUDEC, B. Geochemical characterization of suspended matter and sediment samples from the Elbe river by EPXMA. Water Res., 28:643-655, 1994.