

# USO DO CÉSIO-137 PARA AVALIAR TAXAS DE EROÇÃO EM CULTURA DE SOJA, CAFÉ E PASTAGEM<sup>(1)</sup>

A. C. ANDRELLO<sup>(2)</sup>, C. R. APPOLONI<sup>(3)</sup> & M. F. GUIMARÃES<sup>(4)</sup>

## RESUMO

Utilizou-se o césio-137 para avaliar as taxas de perda ou ganho de solo numa microbacia com diferentes culturas, situada no município de Cambe (PR), a 23°16' Sul e 51°17' Oeste. Foi utilizada uma equação teórica que considera a perda ou ganho de solo num ponto diretamente proporcional à redistribuição de césio-137. Uma amostragem em transectos foi efetuada com o objetivo de avaliar a redistribuição de solo dentro da microbacia. Um ponto em mata nativa na microbacia foi amostrado para estimar a quantidade de césio-137 depositado na região pela precipitação radioativa. Os pontos amostrados em área de pastagem apresentaram, em sua maioria, perda de solo. Os pontos amostrados em área de cafeeiro não apresentaram perda nem ganho de solo. Os pontos amostrados em área de soja, em sistema convencional de preparo de solo, apresentaram perda de solo.

**Termos de indexação:** césio-137, precipitação radioativa, erosão, deposição.

**SUMMARY:** *USE OF CESIUM-137 TO ASSESS SOIL EROSION RATES UNDER SOYBEAN, COFFEE AND PASTURE*

*The methodology cesium-137 was used to assess soil erosion and deposition rates in a small watershed with varied crops, at 23°16' S and 51°17' W, in a district of Cambé, Paraná State, Brazil. A theoretical equation which considers soil loss or gain directly proportional to the cesium-137 redistribution was utilized in this study. In the watershed, soil redistribution was assessed by transect sampling, and the regional input of cesium-137 by radioactive rainfall determined based on samples from a point in the native forest. Most sampled pasture points presented soil loss, as well as the points in the soybean area under conventional tillage, while in the coffee crop there was neither soil loss nor gain.*

*Index terms; cesium-137, radioactive precipitation, soil erosion, soil deposition.*

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em novembro de 2001 e aprovado em outubro de 2002.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Curso de Física, Universidade Estadual de Londrina - UEL. Caixa Postal 6001, CEP 86052-990 Londrina (PR). E-mail: andrello@uel.br

<sup>(3)</sup> Professor Associado do Departamento de Física, UEL. E-mail: appoloni@uel.br

<sup>(4)</sup> Professor Associado do Departamento de Agronomia, UEL. E-mail: mfatima@uel.br

## INTRODUÇÃO

A erosão em sulcos provoca maiores perdas de solo, água e nutrientes em relação à erosão entressulcos, embora esta última acarrete danos consideráveis às terras cultivadas, uma vez que remove continuamente delgadas camadas superficiais do solo, ocasionando perda de nutrientes, matéria orgânica e organismos do solo, imperceptivelmente. Esta última forma de erosão também leva à degradação do solo com decréscimo no rendimento das lavouras, aumento no custo de produção e contaminação das águas com os poluentes provenientes das áreas cultivadas.

Para diminuir o impacto da erosão entressulcos no empobrecimento do solo e na contaminação das águas e evitar que ela evolua para erosão em sulcos, o uso de práticas conservacionistas é necessário. Além disso, modelos que gerem dados quantitativos de taxas de perdas de solo por erosão são úteis para avaliar a eficácia destas práticas e para propor outras práticas conservacionistas mais eficazes. A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é um modelo que tem sido aplicado para isso, entretanto ela depende de muitas variáveis que necessitam de longo período de observação no campo para obter valores médios confiáveis, além de ser aplicável somente para as mesmas condições edafoclimáticas das regiões dos experimentos (Wischmeier & Smith, 1978). Trabalhos realizados no estado do Paraná por Sorrenson & Montoya (1989) e Kronen (1990) evidenciaram o impacto da erosão entressulcos em solos cultivados, revelando a significativa degradação dessas áreas e as práticas conservacionistas necessárias para diminuir o processo erosivo; todavia, estes trabalhos não apresentaram valores quantitativos de perda de solo.

A USLE é um modelo de predição de perdas de solo muito estudado na avaliação do processo erosivo em solos cultivados, mas sua aplicação é limitada em decorrência do alto custo de manutenção dos experimentos de campo para gerar os dados. O céσιο-137 tem sido utilizado no estudo de estimativas de perdas de solo, permite um acompanhamento anual e pode ser aplicado para diferentes condições edafoclimáticas. Por essa razão, o emprego do céσιο-137 tem sido freqüente para avaliar perdas por erosão e ganhos por sedimentação de solo dentro de uma paisagem (McHenry, 1990; Bajracharya et al., 1998; Ritchie & Gregorich et al., 1998).

O céσιο-137 é um radionuclídeo artificial, produto da fissão nuclear do urânio-238 e plutônio-239, introduzido no meio ambiente por meio de testes nucleares de superfície entre início da década de 50 até meados da década de 70. O céσιο-137 é depositado sobre a superfície terrestre pela precipitação radioativa dos produtos da fissão gerados após a detonação. Assim, o céσιο-137 é um átomo instável, com meia-vida de 30,2 anos que decai por emissão

beta ( $\beta^-$ ) para o bário-137 metaestável, com meia-vida de 2,55 minutos que se torna estável após a emissão de um raio gama de energia 661,6 keV, o qual, embora sendo emitido pelo bário-137, caracteriza o céσιο-137.

Por ser a sua meia-vida relativamente longa e pelo fato de ser, em contato com o solo fortemente adsorvido pelas argilas (micáceas) e matéria orgânica (Tamura, 1964), o céσιο-137 exerce uma "marcação" no solo. Quando o solo, "marcado" com céσιο-137, é erodido, este é transportado junto, de modo que se caracteriza uma relação biunívoca entre a perda (ou ganho) de solo e a concentração de céσιο-137 presente nesse solo (Ritchie & McHenry, 1990). A deposição de solo é caracterizada quando a atividade de céσιο-137 de uma amostra é maior do que a atividade de referência de céσιο-137 e, quando essa atividade é menor, caracteriza-se a perda de solo. A atividade de referência do céσιο-137 é igual ao total de céσιο-137 depositado pela precipitação radioativa, determinada por meio de análise de uma amostra de solo coletada em área não perturbada, sem sinais de perda e, ou, deposição de solo.

Vários modelos empíricos e teóricos foram desenvolvidos, correlacionando a redistribuição de céσιο-137 na paisagem com a taxa de perda ou ganho de solo, para as condições edafoclimáticas e de conteúdo de céσιο-137 do hemisfério norte, e podem ser encontrados em Walling & Quine (1990).

Utilizando o método do céσιο-137, Guimarães (1988) analisou uma pequena bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP), constituída por solos com mais de 70 % de areia, utilizada com culturas anuais, nas áreas de relevo mais plano, e reflorestamento de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., nas áreas de relevo ondulado. A autora determinou valores de redistribuição de solo que variaram de 48 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de perda até um ganho de 19 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para as áreas de culturas anuais, e de 57 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de perda até ganho de 46 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para as áreas de reflorestamento. Essa autora concluiu que tal técnica, para as condições de clima tropical e de menor precipitação radioativa do que no hemisfério norte, pode ser utilizada em solos de textura arenosa, obtendo resultados de taxas de perda de solo condizentes com a declividade, uso e erodibilidade desses solos.

O objetivo deste trabalho foi aplicar o céσιο-137, fazendo-se uso do modelo proporcional, para avaliar as taxas de perdas ou ganhos de solo em uma área de solo argiloso nas condições edafoclimáticas e de conteúdo de céσιο-137 da região de Londrina (PR).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para utilização do céσιο-137, foi escolhida a microbacia do córrego Unda, situada ao redor da

latitude 23°16' Sul e longitude 51°17' Oeste, com área total de 600 ha, aproximadamente. O solo é predominantemente da classe Latossolo (EMBRAPA, 1999).

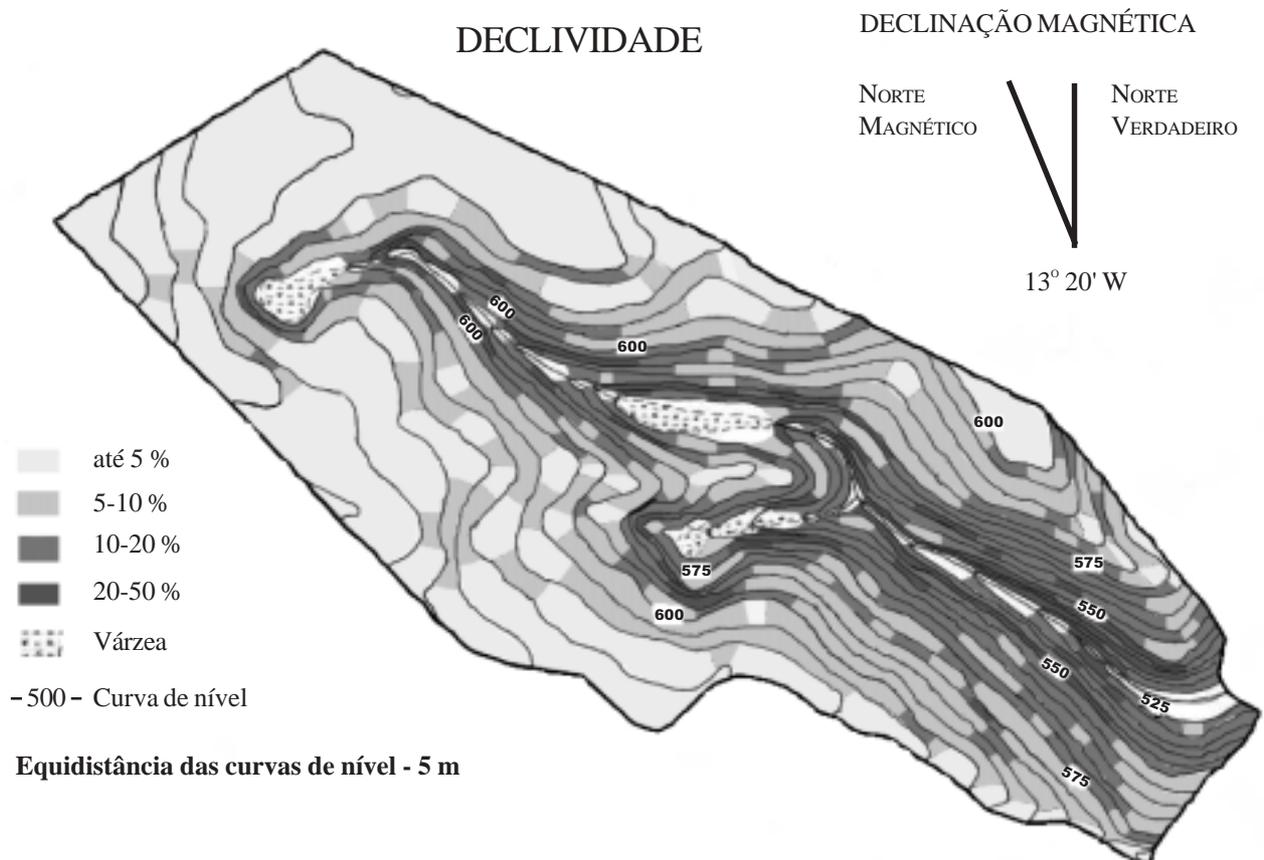
O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer seca no período de inverno. A temperatura média anual da região fica em torno de 20,7 °C, com precipitação pluviométrica anual em torno de 1.615 mm (Corrêa et al., 1982).

O relevo da microbacia do córrego Unda apresenta forma convexa com vertentes que variam em declividade de 0-0,10 m m<sup>-1</sup> do terço superior até o terço médio, e de 0,10-0,50 m m<sup>-1</sup> do terço médio até o terço inferior, onde está situado o córrego Unda. A figura 1 apresenta o mapa da microbacia com as curvas de nível, cotas e relevo.

Para estimar a redistribuição de solo na área escolhida, foi realizada uma amostragem em transectos, abrangendo as três formas de uso e manejo do solo predominantes. Os transectos foram orientados ao longo de linhas preferenciais da erosão entressulcos observadas em campo, ou seja, no sentido paralelo ao declive.

Os transectos foram rotulados pelas letras A, B, C, D, E e F (Figura 2) e, em cada um, foram feitas amostragens em três posições diferentes, cada uma delas em um terço na vertente. Os algarismos que acompanham os rótulos dos transectos referem-se a: (1) terço superior, (2) terço médio e (3) terço inferior na vertente. Uma posição de amostragem numa área de mata nativa dentro da microbacia, a qual não apresentava sinais de erosão e, ou, deposição de solo, foi utilizada para estimar o valor de entrada de césio-137 (total de césio-137 depositado pela precipitação radioativa na região), denominada amostra de referência e rotulada pela letra R.

Embora o valor de entrada de césio-137 possa ser mais bem representado por uma amostragem feita em área de pastagem não perturbada desde o final do período de precipitação radioativa, na microbacia estudada e vizinhanças, isso não foi possível porque todas as áreas de pastagens haviam sido mecanizadas várias vezes, impossibilitando seu uso para determinação do valor de entrada de césio-137. Entretanto, comparando o valor de entrada de césio-137 determinado na mata nativa (292 Bq m<sup>-2</sup>) com valores de entrada de césio-137 determinados por outros autores na região de Piracicaba (422 Bq m<sup>-2</sup> – Bacchi et al., 2000, e entre 280 e 391 Bq m<sup>-2</sup> –



**Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do córrego Unda com as curvas de nível, cotas e relevo.**

Guimarães, 1988), observa-se certa similaridade entre os valores, razão por que o valor de entrada determinado na mata nativa pode ser utilizado para destacar perdas ou ganhos de solo nos pontos amostrados nos transectos.

A figura 2 apresenta os transectos e suas posições na vertente, bem como a posição de amostragem para referência. As amostras do solo, coletadas entre 0-20 cm de profundidade em cada posição, foram compostas de cinco réplicas amostradas dentro de 2 m<sup>2</sup> e homogeneizadas para diminuir a variabilidade espacial de céσιο-137, com cada amostra tendo uma massa de solo de aproximadamente dois quilogramas. As amostras foram coletadas no ano de 1992, secas ao ar por um período de 48 h, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm de malha e acondicionadas em recipientes plásticos de 2 L, tipo béquer Marinelli.

A atividade gama do céσιο-137 nas amostras foi avaliada por um detector de germânio hiperpuro (HPGe), com 10 % de eficiência intrínseca, multicanal de 1.024 canais, eletrônica nuclear padrão de espectrometria gama e blindagem de chumbo e alumínio. Os espectros gama do fundo e das amostras foram adquiridos por um tempo de 60 h. O limite mínimo detectável pelo sistema para a atividade de céσιο-137 foi determinado como sendo de 0,29 (± 0,03) Bq kg<sup>-1</sup>.

Para determinar a atividade do céσιο-137, torna-se necessário o uso de uma equação de calibração que relaciona a taxa de contagem obtida do espectro gama do céσιο-137 com sua atividade. Para utilizar essa equação, é necessário ter amostras de solo calibradas com atividades de céσιο-137 conhecidas para determinação do fator de calibração. Para isso,

foram preparadas quatro amostras de solo com atividades de céσιο-137 que variavam de 3 Bq kg<sup>-1</sup> até 3.500 Bq kg<sup>-1</sup>.

A equação de calibração utilizada neste trabalho foi adaptada de IAEA (1989) e tem a seguinte forma:

$$\alpha = \frac{m \times A_s}{N} \quad (1)$$

em que

N é a taxa de contagem sob o fotopico do céσιο-137 no espectro da amostra calibrada em contagens por segundo (cps); m é a massa de solo da amostra calibrada (kg); A<sub>s</sub> é a atividade específica da amostra calibrada (Bq kg<sup>-1</sup>), e α é o fator de calibração (Bq cps<sup>-1</sup>).

O valor médio para o fator de calibração (α) obtido da análise das quatro amostras de solo calibradas supracitadas foi de 291 ± 20 Bq cps<sup>-1</sup>.

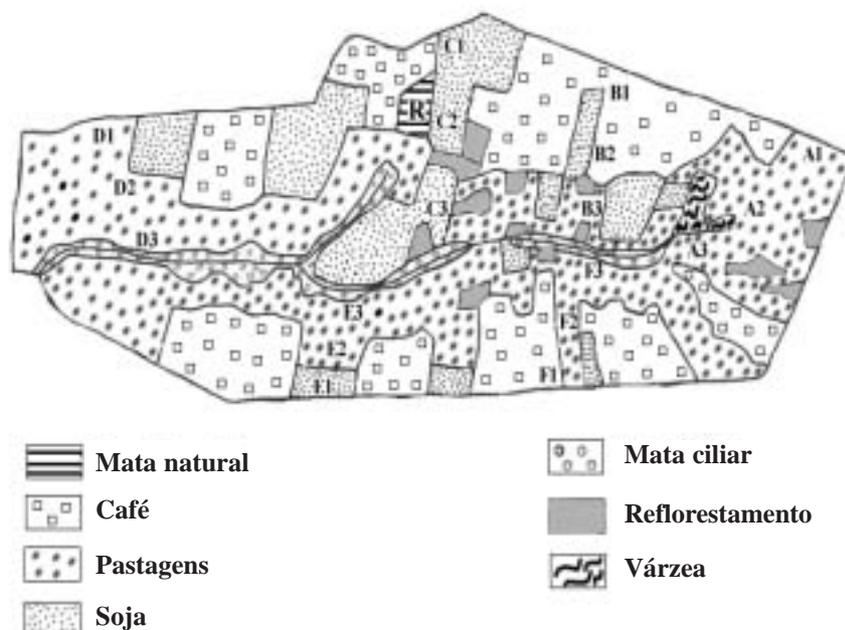
As atividades específicas das amostras de solo coletadas na microbacia foram determinadas a partir do rearranjo da equação (1), como se segue:

$$A_s = \frac{\alpha \times N}{m} \quad (2)$$

em que

m, N e A<sub>s</sub> têm a mesma definição que na equação (1), porém são referentes à amostra de solo analisada e α (fator de calibração) assume o valor determinado acima.

As perdas (ou ganhos) de solo ocorridas em cada amostra dos transectos foram determinadas por meio do modelo proporcional desenvolvido por De Jong et al. (1986), que tem a seguinte forma:



**Figura 2.** Mapa da bacia hidrográfica do córrego Unda com os pontos amostrados em transectos.

$$Y = \frac{C_{S_{amostra}} - C_{S_{referencia}}}{C_{S_{referencia}}} \times \frac{d \times h \times S}{T} \quad (3)$$

em que

Y representa as perdas (sinal negativo) ou ganhos (sinal positivo) de solo na amostra considerada ( $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  $C_{S_{amostra}}$  é a atividade específica de césio-137 determinada na amostra considerada ( $Bq \text{ kg}^{-1}$ );  $C_{S_{referencia}}$  é a atividade específica de césio-137, utilizada como valor de referência, depositada pela precipitação radioativa na região de amostragem ( $Bq \text{ kg}^{-1}$ ); d é a densidade média de solo da amostra considerada ( $kg \text{ m}^{-3}$ ); h é a profundidade da camada arável da área amostrada (m); S é a área de um hectare ( $10.000 \text{ m}^2$ ), e T é o tempo decorrido desde 1964 (ano em que ocorreu a última maior precipitação radioativa) até o ano de coleta das amostras (ano).

Utilizando a definição de atividade da equação (2), introduziram-se os subíndices a e r para representar a amostra considerada e a amostra de referência, respectivamente, de tal modo que tornou possível representar os fatores  $C_{S_{amostra}}$  e  $C_{S_{referencia}}$  da equação (3) como se segue:

$$C_{S_{amostra}} = \frac{\alpha \times N_a}{m_a} \quad (4)$$

$$C_{S_{referencia}} = \frac{\alpha \times N_r}{m_r} \quad (5)$$

em que

$N_a$  é a área líquida sob o fotopico do césio-137, obtida a partir do espectro da amostra considerada (cps);  $N_r$  é a área líquida sob o fotopico do césio-137, obtida a partir do espectro da amostra de referência (cps);  $m_a$  é a massa de solo da amostra considerada (kg), e  $m_r$  é a massa de solo da amostra de referência (kg).

Reescrevendo a equação (3) em função das equações (4) e (5), obteve-se a seguinte forma:

$$Y = \frac{N_a \times (m_r/m_a) - N_r}{N_r} \times \frac{d \times h \times S}{T} \quad (6)$$

A equação (6) foi utilizada, em substituição à equação 3, para determinar as taxas de perdas ou ganhos de solo das posições de amostragem dos transectos por apresentar menor desvio. Além disso, para utilizar a equação (6), não é necessário fazer a calibração do sistema de detecção, como descrito anteriormente, visto que a equação (6) é função somente das áreas líquidas ( $N_a$  e  $N_r$ ) ao invés da atividade específica (A) das amostras, o que economiza tempo e custo financeiro com amostras calibradas.

A densidade média do solo (d) utilizada na equação (6) para as amostras dos transectos foi de  $1.050 \text{ kg m}^{-3}$ , a profundidade (h) da camada arável para as áreas cultivadas da microbacia foi de 0,2 m

e o tempo decorrido (T) desde 1964 até à coleta do solo em 1992 foi de 28 anos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela equação (2), para as atividades das amostras, e pela equação (6), para as taxas de perda ou ganho de solo, estão apresentados no quadro 1, juntamente com o desvio-padrão propagado.

Analisando os resultados do quadro 1 e os mapas apresentados nas figuras 1 e 2, observa-se que os pontos dos transectos amostrados na área de pastagem (A1, A3, B3, D1, D2, D3, E2 e E3) apresentaram perdas de solo variáveis de 8,88 até  $53,75 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Tal resultado mostra-se coerente com o observado no campo, uma vez que se trata de uma pastagem degradada, com baixa cobertura do solo, favorecendo o processo de erosão neste tipo de solo.

Os pontos da área de pastagem A2, F2 e F3 apresentaram ganhos de solo que variam de 8,28 a  $31,67 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Tal ocorrência pode ser explicada pelo fato de: o ponto A2 encontrar-se numa posição de relevo com inclinação  $< 0,05 \text{ m m}^{-1}$ , próximo ao canal de um terraço, cujo posicionamento provavelmente gerou acúmulo de solo; o ponto F2, apesar de encontrar-se em um declive de  $0-0,05 \text{ m m}^{-1}$ , localiza-se logo abaixo de uma área com cultivo intensivo de soja com declive de  $0-0,15 \text{ m m}^{-1}$  e em preparo convencional; o ponto F3, apesar de ter apresentado ganho de solo, esperava-se que fosse maior do que o valor de F2; entretanto, pela sua posição no relevo (inclinação de  $0,05-0,15 \text{ m m}^{-1}$ ) e pelo fato de os pontos estarem orientados ao longo de uma linha preferencial de erosão entressulcos, provavelmente esse ponto também está perdendo solo por erosão.

Nos pontos dos transectos amostrados na cultura do café (B1, B2 e F1), considerando o desvio-padrão para os valores de cada um desses pontos (Quadro 1), observa-se que praticamente não houve perda ou ganho de solo, uma vez que essa cultura proporciona boa cobertura do solo, tendo sido plantada em linhas perpendiculares ao declive. Além disso, o manejo é executado com revolvimento pouco intenso.

Para os pontos C1, C2, C3 e E1, amostrados na cultura da soja sob manejo convencional, observou-se grande perda de solo, exceto para C1, que apresentou ganho de solo de  $24,16 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , por estar localizado em uma bacia de sedimentação. Perdas de solo para a cultura de soja eram esperadas, já que o preparo do solo era convencional e permanecia muito tempo exposto à ação das chuvas.

Para as condições dessa bacia hidrográfica estudada, pode-se afirmar que as perdas médias de solo foram de  $13,90 \pm 1,11 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para a área de pastagem, e de  $15,80 \pm 1,82 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para as áreas de culturas anuais, com ganho médio de solo de  $5,48 \pm 2,50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para a área de café.

**Quadro 1. Valores das taxas de contagens, atividades e perdas ou ganhos de solo para as amostras dos transectos e de referência**

Transecto	Taxa de contagem	Atividade	Perda ou ganho de solo
	x10 <sup>-3</sup> cps	Bq kg <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
A1	6,00 ± 0,28	1,00 ± 0,08	-20,86 ± 3,29
A2	9,53 ± 0,28	1,54 ± 0,12	8,28 ± 4,07
A3	7,33 ± 0,32	1,22 ± 0,10	-8,88 ± 3,85
B1	8,96 ± 0,30	1,57 ± 0,12	9,76 ± 4,37
B2	7,76 ± 0,32	1,45 ± 0,12	3,06 ± 4,45
B3	6,85 ± 0,27	1,21 ± 0,10	-9,92 ± 3,61
C1	9,02 ± 0,33	1,84 ± 0,14	24,16 ± 5,33
C2	6,57 ± 0,28	1,24 ± 0,10	-8,11 ± 3,86
C3	4,16 ± 0,23	0,67 ± 0,06	-39,00 ± 2,41
D1	3,89 ± 0,20	0,97 ± 0,08	-22,90 ± 3,40
D2	1,87 ± 0,24	0,39 ± 0,06	-53,75 ± 2,83
D3	4,55 ± 0,27	0,98 ± 0,09	-21,94 ± 3,81
E1	3,43 ± 0,15	0,64 ± 0,05	-40,25 ± 2,01
E2	3,97 ± 0,16	0,73 ± 0,06	-35,46 ± 2,26
E3	4,03 ± 0,21	0,79 ± 0,07	-32,50 ± 2,80
F1	7,75 ± 0,28	1,46 ± 0,11	3,61 ± 4,16
F2	9,73 ± 0,29	1,98 ± 0,15	31,67 ± 5,23
F3	8,58 ± 0,28	1,64 ± 0,12	13,39 ± 4,50
Referência	6,88 ± 0,27	1,39 ± 0,11	--

Biscaia & Osaki (1994) encontraram taxas de perdas de solo para pastagens, cultura de soja e cafeeiro, para o estado do Paraná, da ordem de 10, 10-20 e 30 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Os resultados obtidos neste trabalho, para a pastagem e cultura de soja, concordam com os apresentados por Biscaia & Osaki (1994). O resultado obtido para o café, no entanto, está em desacordo, o que pode ser atribuído ao fato de os valores relatados por Biscaia & Osaki (1994) terem sido obtidos em parcelas de erosão com tamanho de 3,5 m de largura e 11 m de comprimento, com inclinação aproximada de 9 % e com o café plantado em linha seguindo o declive, enquanto o café na microbacia aqui estudada ocorre numa inclinação em torno de 0,05 m m<sup>-1</sup> e plantado em linhas perpendiculares ao declive.

Guimarães (1988) obteve resultados de perdas de solo, para culturas anuais terraceadas, variáveis de 20 a 300 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e de 18 a 23 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em reflorestamento de *Pinus* sp. Esse resultado de perda na área de reflorestamento, segundo a autora, foi decorrente da pobre cobertura do solo pela espécie florestal que apresentava crescimento reduzido.

Comparando esses resultados com os da microbacia do córrego Unda, ou seja, para culturas anuais terraceadas x cultura de soja, reflorestamento de *Pinus* sp. x cultura de café e reflorestamento de *Pinus* sp. x pastagem, constata-se uma diferença

muito grande entre as perdas de solo dos dois estudos, exceto para reflorestamento de *Pinus* sp. x pastagem que apresentaram valores semelhantes. A diferença entre os resultados obtidos pode ser devida às diferentes condições edafoclimáticas das duas regiões, uma vez que este trabalho e o de Guimarães (1988) usaram as mesmas equações para obtenção dos valores de perdas ou ganhos de solo.

## CONCLUSÃO

1. O uso do céσιο-137 apresenta-se como um método viável para a determinação de taxas de perdas e ganhos de solo por erosão hídrica.

2. Os valores de perdas e ganhos de solo obtidos pelo uso do céσιο-137 ao longo dos transectos, para pastagem e cultura de soja, são coerentes com valores obtidos em parcelas experimentais de erosão, para o mesmo tipo de solo.

## LITERATURA CITADA

BACCHI, O.O.S.; REICHARD, K.; SPAROVEK, G. & RANIERI, S.B.L. Soil erosion evaluation in a small watershed in Brazil through <sup>137</sup>Cs fallout redistribution analysis and conventional models. *Acta Geol. Hispanica*, 35:251-259, 2000.

- BAJRACHARYA, R.M.; LAL, R. & KIMBLE, J.M. Use of radioactive fallout cesium-137 to estimate soil erosion on three farms in west central Ohio. *Soil Sci.*, 163:133-144, 1998.
- BISCAIA, R.C.M. & OSAKI, F. Estimativa do fator de gerenciamento para a agricultura do Estado do Paraná com base nos dados dos relatórios de pesquisa do IAPAR. Curitiba, Instituto Agronômico do Paraná, 1994.
- CORRÊA, A.R.; GODOY, H. & BERNARDES, L.R.M. Características climáticas de Londrina. Curitiba, Instituto Agronômico do Paraná, 1982. 20p. (Circular 5)
- DE JONG, E.; WANG, C. & RESS, H.W. Soil Redistribution on three cultivated new Brunswick hillslopes calculated for <sup>137</sup>Cs measurements, solum data and the USLE. *Can. J. Soil Sci.*, 66:721-730, 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999.
- GUIMARÃES, M.F. <sup>137</sup>Cs da precipitação radioativa ("fallout") no estudo da erosão e sedimentação de solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988, 136p. (Tese de Doutorado)
- GREGORICH, E.G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D.W.; LIANG, B.G. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil Till. Res.*, 47:291-302, 1998.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. Measurement of radionuclides in food and the environment. A guide book, Viena, 1989. 63p. (Technical Reports, 295)
- KRONEN, M. A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná. Curitiba, Instituto Agronômico do Paraná, 1990. 53p. (Boletim Técnico, 30)
- RITCHIE, J.C. & MCHENRY, J.R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *J Environ. Qual.*, 19:215-233, 1990.
- SORRENSEN, W.J. & MONTOYA, L.J. Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná. Curitiba, Instituto Agronômico do Paraná, 1989, 104p. (Boletim Técnico, 21)
- TAMURA, T. Selective sorption reactions of cesium with mineral soil. *Nucleic. Safety*, 2:161-175, 1964.
- WALLING, D.E. & QUINE, T.A. Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. *Land Degrad. Rehab.*, 2:161-175, 1990.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978 (USDA Handbook, 537)

