

EROSÃO E DEGRADAÇÃO DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*), GUARAPUAVA - PR

Edivaldo Lopes THOMAZ & Valdemir ANTONELI

Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Laboratório de Geografia Física, Grupo de Pesquisa Estudo de Processos e Dinâmica em Bacia de Drenagem. Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03. Cx. Postal 3010 – Centro Politécnico. CEP: 85040-430. Guarapuava, PR. Endereço eletrônico: thomaz@unicentro.br.

Introdução
Caracterização da Área de Estudo
Metodologia
Resultados e Discussão
 Análise Pluviométrica
 Avaliação da Remoção de Solo
 Mensuração de Raízes Expostas
 Erosão, Mudanças Físico-Hídricas e Empobrecimento do Solo
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – O objetivo desse ensaio foi caracterizar a erosão e a degradação de solo em uma área cultivada com erva-mate (*Ilex paraguariensis*). A área de estudo localiza-se no município de Guarapuava, Estado do Paraná. Foi comparada a erosão em três parcelas (2 x 2 m) com pinos de erosão com os seguintes tratamentos: cobertura vegetal em entrelinha, área capinada e dessecada e área erodida. Monitoraram-se, ainda, árvores com raízes expostas. Compararam-se as condições físico-hídricas (infiltração de água no solo, densidade e porosidade do solo), e químicas (fertilidade do solo) em área com cobertura vegetal e a área erodida. Constatou-se que a área cultivada com erva-mate apresentou erosão em níveis severos, sendo que alguns registros de remoção de solo se aproximam da taxa de erosão em *badlands*. Verificou-se que a remoção de solo, está acima do nível médio de tolerância para solos pouco profundos. A manutenção de vegetação nas entrelinhas reduziu significativamente a remoção de solo em comparação às áreas sem cobertura vegetal. Por outro lado, a prática de coroamento das árvores tendeu a expor o topo do solo aos agentes erosivos. As condições de fertilidade, infiltração de água no solo, densidade e porosidade do solo foram piores na área erodida em comparação a área com cobertura vegetal (entrelinha). As características morfopedológicas (relevo-solo) da vertente em análise exigem práticas conservacionistas mais intensas, tanto físicas quanto edáficas para frear o processo erosivo acelerado já instalado.

Palavras-chave: erosão, degradação do solo, *Ilex paraguariensis*, Guarapuava - PR.

ABSTRACT – E.L. Thomaz & V. Antoneli - *Erosion and soil degradation in the cultivated area with *Ilex paraguariensis*, Guarapuava, Paraná State.* This essay investigates the erosion and soil degradation characteristic in the cultivated area with *Ilex paraguariensis* plantation. The study area is located in Guarapuava municipality, Parana, State. Three plots (2 x 2 m), was used to measure soil erosion, with the following treatments: vegetation covering in between lines, desiccated vegetation area (bare soil) and eroded area. Still trees trunk and roots were monitored. Physical e chemical assessment between vegetation covering and eroded area was done. The physic-hydric conditions (soil water infiltration, bulk density and soil porosity) were compared, as well as, soil fertility. The cultivated area with *Ilex paraguariensis* displayed severe levels of erosion, being that some data of soil removal might be similar to badlands erosion areas. It was verified that the soil removal, is above of the average tolerance level for shallow soil. Because of vegetation preservation in between lines, soil erosion was significantly reduced in comparison to the areas without vegetation covering. On the other hand, the practice of the bared soil maintenance around the trees trunk tended to expose the topsoil to erosive agents. Some conditions as: soil fertility, water infiltration, bulk density and soil porosity had been worse in the eroded area in comparison to the area with vegetation covering (between lines). For the reasons that of landform and soil characteristics on hill slope, it's demanding more intensive soil conservation practices; to reduce the accelerated erosive process already installed on the area.

Keywords: erosion, soil degradation, *Ilex paraguariensis*, Gurapuava - PR.

INTRODUÇÃO

Existe aumento significativo de preocupação com os problemas ambientais, notadamente, acerca do aquecimento global. Entretanto, um tipo degradação ambiental que cresce no mundo todo é a erosão, aliada a degradação das terras agrícolas. Mesmo sendo um dos processos mais estudados e documentados, a despeito dos inúmeros avanços nas técnicas de manejo e conservação dos solos tal problema persiste em diversas partes do mundo. Igualmente, no Brasil

inúmeros casos são registrados (Ribeiro & Salomão, 2003; Stein et al., 2003; Robaina et al., 2002; Thomaz & Luiz, 2004).

As áreas agrícolas apresentam as maiores perdas de solo, especialmente, em sistema de preparo convencional. Em Bela Vista do Paraíso-PR em plantio convencional sucessão soja/trigo foi registrada perda de 25 t/ha/ano, já em sistema plantio direto as perdas foram bem menores 0,9 t/ha/ano (Sorrenson &

Montoya, 1989). Por outro lado, têm sido registrados valores bem inferiores de erosão de solo em áreas com pastagens como: 0,7 t/ha/ano (Lepsch, 2002), entre 0,06 t/ha/a, a 0,23 t/ha/ano (Casetti 1983) e 1,8 t/ha/ano (Sorrenson & Montoya, 1989).

A erosão em florestas são inferiores as perdas registradas em áreas com atividade agropecuária. Após análise de diversos estudos, Mackensen et al. (2003), concluiu que área com floresta apresenta uma taxa de erosão (mediana) de 0,3 t/ha/ano. Contudo, Martins, et al. (2003) argumenta que mesmo sistemas agroflorestais apresentam perdas de solos menores (0,21 a 3,20 t/ha/ano), em comparação com culturas agrícolas e pastagens. Lima (1996) destaca um estudo experimental conduzido durante 4 anos em sistema agroflorestal com *Eucalyptus grandis*. O autor reporta no primeiro ano de plantio perdas de solo na ordem de 1,022 t/ha a

6,526 t/ha (média 3,482 t/ha, n = 4). Todavia, quatro anos após o plantio com o crescimento das plantas houve considerável redução da erosão do solo que variou entre 0,01 t/ha a 0,143 t/ha (média 0,065 t/ha, n = 4).

Como visto, as práticas agropecuárias exercem forte controle no processo erosivo. A retirada da cobertura vegetal com posterior instalação de campos de cultivos ou pastoreio leva a mudança biofísica dos solos como: redução de matéria orgânica, compactação, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial, erosão do solo entre outras (Morgan, 2005). Deste modo, o objetivo do presente estudo foi caracterizar a erosão e a degradação do solo por meio da mensuração de parâmetros físico-químicos (erosão, infiltração, densidade, fertilidade e outros) em uma área cultivada com erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no município de Guarapuava-PR.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área monitorada está em altitude média de 997 m e localiza-se na bacia hidrográfica do Rio Lajeado (coordenadas 25°27'12" latitude Sul e 51°27'30" longitude Oeste) no vale do Rio Jordão, município de Guarapuava estado do Paraná. O uso da terra no âmbito da bacia é variado com predominância de pastagem, agricultura mecanizada, reflorestamento com pinus e muitas áreas recobertas por capoeira e florestas secundárias. Existe um predomínio de pequenas propriedades ocupadas, principalmente, por agricultura familiar.

No local monitorado (terço médio de vertente) predomina o solo Cambissolo com textura argilosa fase pedregosa, sob domínio da floresta subtropical subperenifolia. Geralmente o Cambissolo é encontrado em relevo ondulado e forte ondulado. Na área de estudo os Cambissolos foram identificados em relevo com declividade variando 1% a 21%, entretanto, o predomínio foi em declividades superiores a 14% (Embrapa, 1999). Devido às características descritas essa unidade apresenta suscetibilidade muito forte à erosão (Mendes & Castro, 1984, Embrapa, 1999).

O clima de Guarapuava está sob domínio da zona extratropical o que resulta em temperaturas com caráter mesotérmico (Monteiro, 1963). A série histórica (1976 a 2002) do Instituto Agrônomo do Paraná indica para Guarapuava temperatura anual média é de 17,1 ± 0,47° C, com inverno frio e verão amenizado pelas

altitudes sendo que a evaporação anual média de 835,1 ± 123,9 mm. As chuvas são abundantes e distribuídas ao longo do ano (média anual 1953,8 ± 389,7 mm). Os meses mais chuvosos são outubro (204,6 ± 75,7) e janeiro (204,0 ± 91,9 mm) e o menos chuvoso é agosto (95,7 ± 71,2).

A erva-mate, *Ilex paraguariensis*, é uma Aquifoliaceae, espécie nativa da Floresta Ombrófila Mista. A erva-mate pode ser explorada in natura ou consorciada com algumas culturas anuais. As recomendações para plantio de erva-mate variam de acordo sistema de produção adotado. Quando cultivada, em áreas de lavouras ou pastagens, ou no adensamento de erval nativo, utilizam-se o espaçamento de 5 x 3 m. Nos plantios de erva-mate solteira, a pleno sol, deverá ter um espaçamento de 3 x 3 m. Prat Kricun & Bellingheri (1992) chegaram a recomendar espaçamento de até 2,25 x 1 m. Em sistemas agrosilviculturais, os espaçamentos são maiores, chegando a 6 x 4 m ou 8 x 3 m.

Na área de estudo o espaçamento da erva-mate é 3 x 2 m, correspondendo em torno de 1,6 mil e seiscentas plantas por hectare. Entretanto, o plantio foi efetuado em vários estágios (diferentes anos), por isso, há heterogeneidade do plantio com árvores adultas e jovens. Aliás, algumas árvores estão fora de padrão das linhas/entrelinhas por serem nativas, uma vez que antes estavam associadas com a vegetação existente (Floresta Ombrófila Mista).

METODOLOGIA

O monitoramento da remoção de solo foi realizado em setor de meia vertente com declividade média de

20%. Utilizou-se a técnica volumétrica de pinos de erosão para mensurar a remoção do solo (De Ploey &

Gabriels, 1980). Os pinos (vergalhões de ferro) foram parcialmente enterrados no solo (15 cm) ficando uma parte exposta (5 cm) para realização da leitura (Foto 1, A e B). Três parcelas com 4 m² foram dispostas no sentido do declive, distante 20 a 30 m uma das outras. As parcelas mensuradas têm as seguintes declividades e cobertura do solo: parcela 1 com 17% instalada na entrelinha com cobertura vegetal (9 pinos), parcela 2 com 20% instalada na entrelinha, porém, sem cobertura vegetal (capinada e dessecada continuamente com herbicida) (9 pinos) (Foto 1A), parcela 3 com 22% sem cobertura de solo (solo nu) e processo erosivo laminar e sulco intenso (12 pinos) (Foto 1B). As leituras foram realizadas mensalmente (24/04/2000 a 19/03/2002), utilizando-se sempre a mesma régua. A leitura dos pinos foi feita sempre do mesmo lado, exceto na parcela 3 em que as leituras foram realizadas nas 4 laterais do pino devido à ocorrência de deposição de sedimento na parte superior do pino e solapamento na parte inferior, assim, a remoção de solo foi obtida a partir da média de quatro medidas.

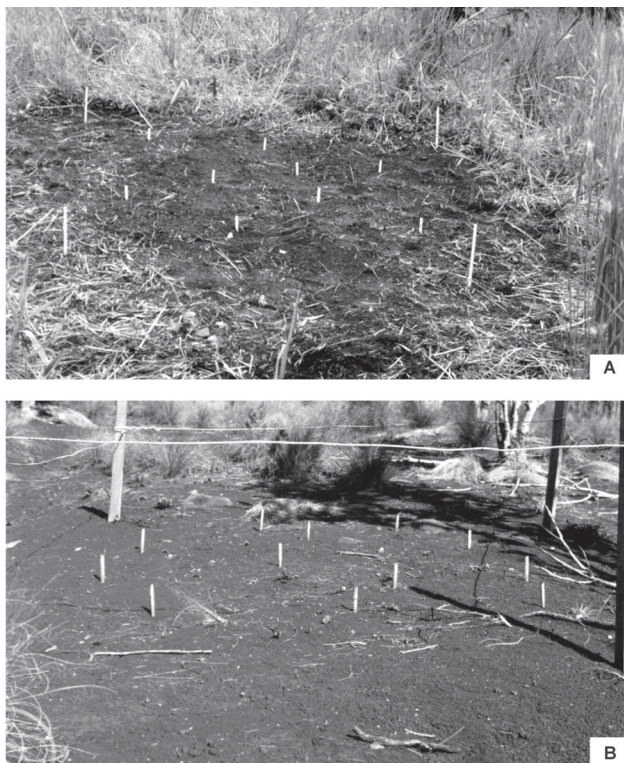


FOTO 1. Parcelas com pinos de erosão: **A)** parcela 2 em entrelinha com vegetação retirada e posteriormente dessecada, **B)** parcela 3 em área erodida.

Obs. Acima da parcela 2 encontra-se a parcela 1 na entrelinha com vegetação. (Foto: Thomaz, 2000).

Além das três parcelas foi empregada técnica de avaliação de raízes expostas (evidência botânica) (Foto 2). De acordo com Schanabel (1994) este método

foi aplicado por diversos pesquisadores para avaliação de erosão no Leste da África (Rapp et al., 1972; Dunne et al., 1972 e Stocking, 1988) citado por Schanabel (1994). Para Schanabel (1994) tal procedimento envolve erros e incertezas quanto à precisão das medidas, pois muitas vezes é difícil estimar a idade da árvore, a morfologia da planta pode facilitar a exposição das raízes, a inclinação da vertente também influencia o desenvolvimento das plantas, entre outros. Contudo, com certo controle e comparações pode-se pelo menos estimar a remoção do solo.

Realizou-se avaliação da erosão, medindo-se troncos e raízes de árvores de erva-mate. Dunne (1977) mediu 5 a 10 árvores para estimar a erosão média em cada setor de vertente. Neste estudo, monitoraram-se mensalmente (17/06/2000 a 10/02/2002) 12 árvores de erva-mate, distribuídas aleatoriamente na vertente, sobretudo, na área intensamente erodida. Das 12 árvores, 10 foram utilizadas para estimar a erosão total da área degradada, devido serem elas árvores adultas. Utilizou-se o mesmo procedimento da parcela 3 para fazer as mensurações de raízes expostas (foram medidos os 4 lados do tronco). As medições foram realizadas na transição do colo da árvore (tronco-raízes ou parte aérea-subaérea) (Foto 2).

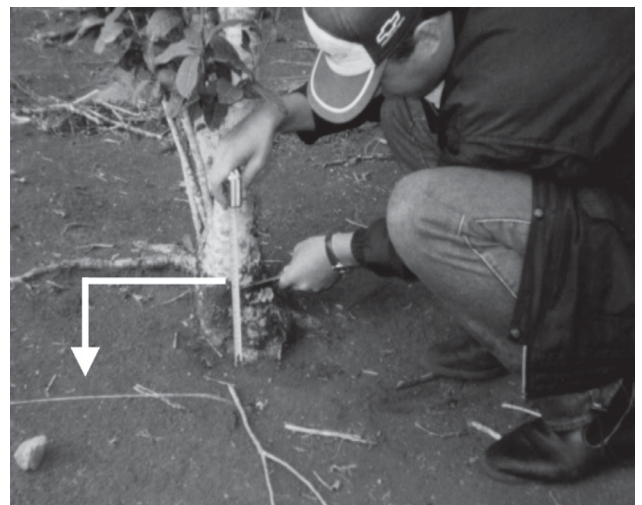


FOTO 2. Estimativa de erosão laminar por meio de mensuração de raízes expostas (transição colo-raízes) de erva-mate (Foto: Thomaz, 2000).

A avaliação da densidade e porosidade do solo foi feita através de anéis volumétricos com 56,5 cm³. Realizaram-se três amostragens (0-10 cm e 10-40 cm) em cada uma das áreas: entrelinhas com cobertura vegetal e em área erodida. As amostras foram coletadas em uma trincheira com 50 x 50 cm de largura por 40 cm de profundidade. Nas mesmas trincheiras

foram coletadas amostras para análise granulométrica (silte, areia e argila). Os procedimentos para obtenção dos referidos parâmetros seguiram as recomendações da Embrapa (1997). A densidade do solo foi utilizada para estimar remoção de solo na área em estudo (Equação 1). Coletaram-se duas amostras de solo para análise de fertilidade (entrelinhas com cobertura e área erodida). Utilizou-se um trado holandês para a coleta do solo (0-20 cm), sendo que cada amostra foi resultado de várias sub-amostras, que posteriormente, foram homogeneizadas resultando uma amostra composta.

$$E = R \times D_s \quad (1)$$

onde, E = Erosão ou acúmulo de solo (kg m^{-2}); R = Rebaixamento da superfície (mm); D_s = Densidade do material (g cm^{-3}).

A mensuração de infiltração de água no solo foi realizada por meio de um infiltrômetro de anéis duplos (concêntricos). O equipamento é composto por dois reservatórios de água com capacidade de 6,3 litros em cada um deles. Um reservatório fornece água para o

anel externo com 20 cm de diâmetro, enquanto, o outro para o anel interno com 10 cm de diâmetro onde é medida a infiltração. Durante a mensuração da infiltração a água é fornecida ao mesmo tempo aos dois anéis. O uso de anéis duplos busca diminuir o efeito de dispersão lateral da água durante a mensuração. Aplicou-se uma carga constante de água durante 60 minutos. Os ensaios foram conduzidos ao acaso, sendo feitas 6 repetições nas entrelinhas da cultura com cobertura vegetal e 6 repetições em locais erodidos (solo nu).

A precipitação foi coletada semanalmente devido à distância do local monitorado. Tal procedimento não permitiu correlação entre a precipitação diária e erosão do solo, além disso, parte da chuva precipitada perdeu-se por evaporação. Todavia, foram utilizados dados da estação Agrometeorológica do IAPAR, localizada a aproximadamente 12 km da área de estudo, para contextualizar o período de monitoramento em relação à precipitação diária e média mensal histórica de Guarapuava. As análises estatísticas foram realizadas de acordo com Viera (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

Grosso modo, a precipitação no período de monitoramento ocorreu dentro do padrão de chuva anual médio (Tabela 1). Houve variações significativas nas chuvas mensais e sazonais, todavia, houve uma compensação entre meses menos chuvosos abaixo da média (ex. 110,6 mm, Dez./2001) e outros mais chuvosos acima da média (ex. 333,3 mm Set./2000). Não foi possível a coleta diária das chuvas devido à distância do local do monitoramento, por isso, as análises foram realizadas apenas com base no rebaixamento total do período de monitoramento.

Porém, ao se comparar o total mensurado semanalmente no local do monitoramento (3347,0 mm) com o registrado durante o mesmo período na estação

Agrometeorológica do IAPAR (3703,6 mm), contata-se uma diferença de 356,6 mm, ou seja, nesta última a precipitação foi 10,7% superior. Tal diferença pode estar relacionada à precisão dos instrumentos, a coleta diária (menos perda por evaporação), além da própria variabilidade têmporo-espacial da precipitação. Portanto, o padrão médio das chuvas diárias, mensais, sazonal e anual de ambos locais foi muito próximo.

Foram registradas ao todo 260 chuvas durante o monitoramento (Figura 1), sendo que as chuvas consideradas pouco erosivas ou leves entre $>0,5$ mm a $<20,0$ mm foram as mais frequentes somando 73,8% (192 chuvas). As chuvas médias com volume entre 20 a 30 mm acumularam 12,3% (32 chuvas), enquanto que, as chuvas mais erosivas e com maior volume (> 30 mm) somaram 13,8% (36 chuvas).

TABELA 1. Precipitação mensal nos anos de monitoramento comparada com a média histórica (1976-2002).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2000	159,5	181,5	112,9	105,6	90,2	182,5	95,7	89,9	333,3	222,8	196,7	213,4	1984,0
2001	198,6	331,8	92,1	124,9	141,6	107,8	126,7	87,2	152,0	190,4	192,0	110,6	1855,7
2002	264,2	93,6	70,8	132,2	287,0	20,0	69,2	71,2	194,4	275,8	226,9	168,2	1873,5
Média Histórica	204,1	170,8	145,8	151,4	174,3	139,6	129,6	95,7	177,0	204,6	165,6	195,5	1953,8

Fonte: Estação Agrometeorológica do IAPAR.

Nota: O período de monitoramento ocorreu entre 24/04/2000 a 19/03/2002.

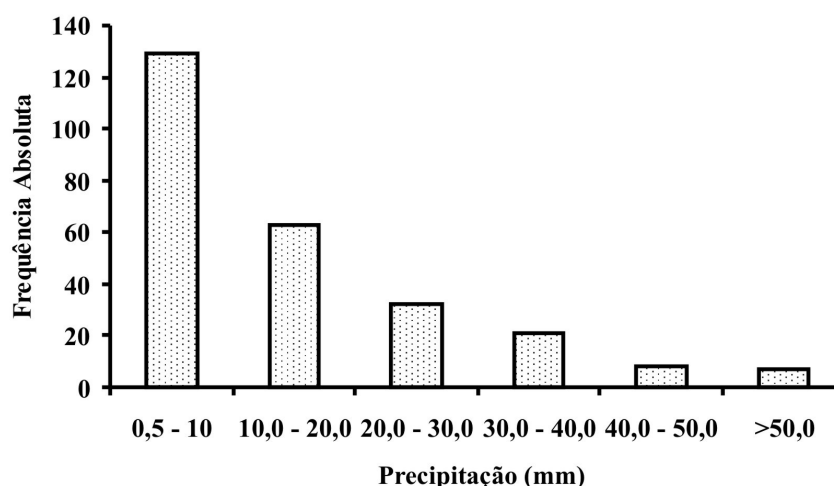


FIGURA 1. Precipitação de acordo com classe de chuva durante o período de monitoramento (24/04/2000 a 19/03/2002). Fonte: Estação Agrometeorológica do IAPAR.

AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE SOLO

A parcela 1, entrelinha com cobertura vegetal, apresentou a maioria dos pinos com acúmulo de solo, o que resultou num alto coeficiente de variação (Tabela 2). A erosão neste local não foi tão alta como nas demais parcelas e árvores mensuradas. Houve mais tendência de redistribuição de solo na parcela, do que propriamente remoção. Entretanto, apresentou um rebaixamento médio de 0,28 cm.

A parcela 2, entrelinha capinada e dessecada, teve apenas um pino com acúmulo de solo, resultando num coeficiente de variação muito alto. Porém, a erosão mensurada nessa parcela foi significativa indicando forte erosão. Nessa parcela, como na parcela 1 não havia processo erosivo instalado, mas após a retirada da cobertura vegetal a erosão do solo teve níveis tão alto quanto às áreas com forte erosão laminar e em sulco (parcela 3 e árvores). A parcela 3 foi instalada

num local onde havia forte processo erosivo, tanto laminar, quanto por sulcos, assim, nenhum pino apresentou acúmulo de solo. Conseqüentemente, essa parcela foi a que mais apresentou remoção de solo, bem como o rebaixamento da superfície foi mais homogêneo (C.V. 24,2%). O rebaixamento mensurado por meio de raízes expostas apresentou remoção de solo entre os limites registrados na parcela 2 e parcela 3. Observou-se que na medida em que os locais das parcelas/árvores apresentavam processos erosivos mais intensos, menor foi a variação das mensurações.

Mensuração de Raízes Expostas

Constatou-se correlação positiva entre o diâmetro do tronco das árvores de erva-mate e a quantidade de solo removido em volta deles (Foto 2). Pelo menos duas possibilidades podem ser apontadas como possível causa para esse comportamento. A primeira é que o

TABELA 2. Avaliação da remoção do solo ao longo do monitoramento (24/04/2000 a 19/03/2002).

Parâmetros	Parcela 1 (entrelinha com vegetação)	Parcela 2 (entrelinha com vegetação removida/dessecada)	Parcela 3 (área erodida)	*Raízes expostas
Média de rebaixamento (cm)	0,28	1,96	2,64	1,41
Desvio padrão	0,58	1,38	0,64	0,71
Coeficiente de Variação (C.V)	207,10	70,40	24,20	50,61
Pinos com rebaixamento	4	8	12	12
Pinos com acúmulo	5	1	-	-
Erosão estimada (kg m ²)	3,080	21,560	29,568	15,792

Nota: * O monitoramento das árvores ocorreu entre 17/06/2000 a 10/02/2002 (21 meses)

plântio de erva-mate na área de estudo é desigual, ou seja, possui árvores com diferentes idades, assim, as que são mais velhas está há mais tempo expostas aos processos erosivos. A segunda é que as árvores maiores possuem copadas mais amplas e mais altas, por conseguinte, ocorre o aumento do fluxo de tronco e gotejamento. Observou-se que apesar da heterogeneidade no porte das árvores elas têm em média de 3 a 4 m de altura, sendo que as maiores atingem em torno de 5 m.

As folhas da árvore de erva mate funcionam como coletoras de água devido ao seu formato, sendo ocasionados fluxos sobre as folhas gerando gotas de diâmetro possivelmente maiores que aquelas oriundas de chuva natural. De Ploey (1981) argumenta que as gotas originadas pelas folhas geralmente possuem em torno de 4 - 6 mm de diâmetro, excedendo enormemente o tamanho médio das gotas de chuvas 2 - 2,5 mm. O autor sugere que uma gota de 5 mm caindo de uma altura de 4 m possui 8 vezes mais energia cinética do que uma gota de chuva de 2,5 mm atingindo o topo do solo em velocidade terminal.

Geralmente, no cultivo de erva-mate, é preciso que o solo ao redor da planta seja constantemente capinado, esse procedimento é chamado coroamento (capina periódica efetuada ao redor dos pés de erva-mate para o controle das ervas daninhas). Com isso, o solo ao redor da árvore permanece descoberto, sendo

que quanto maior a planta maior será a área de coroamento. Dessa forma, há maior exposição e susceptibilidade do solo a erosão, que é agravada, sobretudo, devido ao gotejamento das folhas (salpico) e ao fluxo de tronco das árvores de erva-mate que aumentam o deslocamento e transporte de partículas de solo.

O fluxo de tronco/gotejamento acaba se juntando ao escoamento superficial oriundo à montante das árvores, que por sua vez, sofre barramento com a parte superior do tronco aumentando o turbilhonamento ao redor deles. Esse processo resulta numa remoção maior de solo, tendendo a ser maior nas árvores de maior porte (Figura 2).

A média de rebaixamento total de 10 árvores tomadas ao acaso (Foto 2) foi de $18,6 \pm 3,56$ cm. A remoção de solo registrada pela exposição de troncos e raízes foi estimada em $212,5 \text{ kg m}^2$. Considerando, as mensurações nas parcelas e nos troncos, estima-se que toda essa remoção de solo tenha ocorrido durante pelo menos 18 anos (intervalo 14 a 23 anos) o que representa uma taxa de erosão de $11,8 \text{ kg/m}^2/\text{ano}$, correspondendo a uma taxa de rebaixamento médio da superfície de pouco mais de 1 cm/ano (intervalo 0,806 cm/ano a 1,32 cm/ano). A baixa variação das medidas de remoção do solo (19,1%) indica um rebaixamento relativamente homogêneo na área degradada, característica da erosão em lençol.

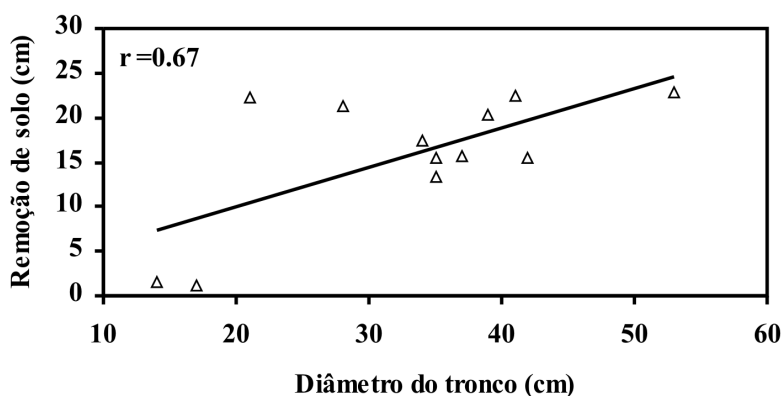


FIGURA 2. Correlação entre o diâmetro do tronco e a remoção de solo (n = 12).

Estudos realizados por Dunne (1977) utilizando evidência botânica (raízes expostas) apontaram no período de 10-20 anos taxas de perdas de solo variando entre 0,1 a 0,5 cm/ano (plano de Athi-Kapiti) e 0,4 a 1,2 cm/ano no Norte do Quênia. O autor ressalta que essas taxas foram obtidas em terrenos poucos declivosos.

Young & Saunders (1986) apontaram que em agricultura com baixa conservação do solo, incluindo superpastoreio, a perda de solo pode chegar a 50-200

t/ha/ano. Rufino & Biscaia (2000) indicaram perdas de 90,5 t/ha/ano em parcelas com solo nu em Londrina-PR. Valor semelhante foi obtido por Silva et al. (1986) (93,80 t/ha/ano), em Alagoinha-PB. Estudo realizado em Guarapuava-PR, em área degradada (7% de declividade), utilizando-se técnicas volumétricas (pinos móveis), indicou um rebaixamento médio de 1,9 cm/ano resultando numa erosão de 235,60 t/ha/ano (Thomaz & Luiz, 2004). Pesquisa realizada na área de estudo (Embrapa, 1999), utilizando diagnósticos de

perfis pedológicos apontou perda de 15 cm (pastagem) a 25 cm (agricultura) do horizonte superficial em Latossolo Bruno, em comparação, com área ocupada por floresta. Por fim, Sirvent et al. (1997) registraram em áreas de *badlands* na Espanha remoção de solo na ordem de 170,2 t/ha/ano a 258,6 t/ha/ano.

De maneira geral, as estimativas obtidas na presente pesquisa são condizentes com os estudos anteriores, uma vez que, as parcelas e árvores que apresentaram nitidamente erosão tiveram as seguintes taxas de erosão: parcela 2 (entrelinha sem vegetação) (107,8 t/ha/ano), parcela 3 (147,84 t/ha/ano) e medidas dos troncos (90,24 t/ha/ano). Apenas a parcela 1 (entrelinha com vegetação) não ocorreu claramente erosão se comparada com as demais. Haja vista, que a maioria dos pinos teve acúmulo de solo. Todavia, considerando o rebaixamento médio do conjunto de pinos a taxa de erosão foi de 15,4 t/ha/ano. Neste caso, apenas a manutenção da cobertura da vegetação na entrelinha reduziu em 7,5 vezes a erosão do solo em comparação com a média de erosão registrada pelas parcelas e mensurações de troncos.

A erosão do solo nesta área está muito acima do limite de tolerância médio para solos poucos desenvolvidos. Segundo a FAO (1967), citado por Martins et al. (2003), a perda tolerada para solos profundos é de 12,5 t/ha/ano, enquanto que para solos rasos a tolerância varia entre 2 a 4 t/ha/ano (ex. Neossolos Litólicos e Cambissolos). Morgan (2005) aponta que perdas de solo entre 10-50 t/ha é considerada alta, de 50-100 t/ha é considerada severa, já de 100-500 t/ha é muito severa. De acordo com essas taxas a área em estudo apresenta uma remoção de solo muito intensa, semelhante ou mesmo superior às perdas referenciadas acima e anteriormente (ver introdução).

A erosão do solo registrada, notadamente, na parcela 3 se assemelha à remoção de solo em *badlands* (terras severamente erodidas), segundo

Morgan (2005) nessas áreas a erosão do solo pode exceder a 260 t/ha/ano. A forte degradação biofísica do solo levou o local a perder a fertilidade química, assim como, a capacidade de suporte de plantas (biomassa).

Erosão, Mudanças Físico-Hídricas e Empobrecimento do Solo

O solo é de textura muito argilosa. As análises granulométricas entre 0 – 40 cm indicaram os seguintes valores: areia 9,5%, silte 22% e argila 68,5%. Esses valores estão dentro do limite apontado pela Embrapa (1979 e 1999) para esse tipo de Cambissolo medianamente profundo (aproximadamente 1 m de perfil), originado de rochas basálticas. A partir de certa profundidade onde é alcançada a frente de intemperismo ocorre o aumento de silte e redução de argila.

A densidade aparente do solo foi ligeiramente superior na área erodida, e por consequência, a porosidade total foi inferior (Tabela 3). Ocorreu diferença significativa (Teste t α 0,05%) ao se comparar todas as 6 amostras (0 – 40) de cada área. De acordo com a Embrapa (1979), a densidade de partículas em Cambissolos no horizonte A (0 – 28 cm) é 2,38 g cm³ e no horizonte B (>80 cm) a média é em torno de 2,625 g cm³ (região de Guarapuava). Em condições naturais, Floresta Ombrófila Mista, à densidade e a porosidade no horizonte A é de 0,61 g cm³ e 74% respectivamente, em contrapartida, no horizonte B a densidade variou entre 1,01 g cm³ a 1,09 g cm³ e a porosidade total ficou entre 61% a 59%. Comparando-se os resultados obtidos neste estudo com os dados da Embrapa (1979), constata-se que os parâmetros avaliados possuem valores superiores ao horizonte B, ou seja, o horizonte A superficial pode ter sido totalmente erodido. Visto que, a densidade do solo na área de estudo foi 80,3% superior, enquanto que a porosidade em condições naturais foi 27,1% superior.

TABELA 3. Resultados da análise da densidade global do solo.

Profundidade da amostra (cm)	Densidade do solo em área degradada (g cm ³)	Porosidade total do solo em área degradada (%)	Densidade do solo em área com cobertura vegetal (g cm ³)	Porosidade total do solo em área com cobertura vegetal (%)
0 - 10	*1,12 ± 0,01	57,7 ± 0,38	1,10 ± 0,01	58,6 ± 0,44
10 - 40	1,16 ± 0,01	56,1 ± 0,44	1,12 ± 0,02	57,9 ± 0,57

Nota: * Média obtida a partir de 3 amostras.

As condições físicas superficiais (densidade e porosidade) se refletiram na mensuração de infiltração de água no solo. Inicialmente, até 15 minutos de ensaio as duas áreas apresentaram curvas de infiltração

próximas. Entretanto, a partir dos 20 minutos de ensaio tendeu a aumentar a diferença na taxa de infiltração das duas áreas. No geral, a taxa de infiltração final na área com vegetação (entrelinhas), pode ser considerada

baixa (1,39 mm/h) e na área erodida muito baixa (0,71 mm/h). Na entrelinha com vegetação a taxa de infiltração final foi 95,8% superior em relação à área erodida (Reichardt, 1990). Em relação à infiltração total ocorreu diferença significativa entre as duas áreas, igualmente a análise anterior à infiltração total na entrelinha com vegetação foi 29,1% superior à área

erodida (Figura 3). O coeficiente de variação referente a seis repetições realizadas na entrelinha com vegetação e em locais severamente erodidos foi de 14,2% e 9,0% respectivamente. A variação pode ser considerada baixa para este tipo de mensuração. Tal fato pode indicar ainda características superficiais homogêneas nas duas áreas, particularmente, na área erodida.

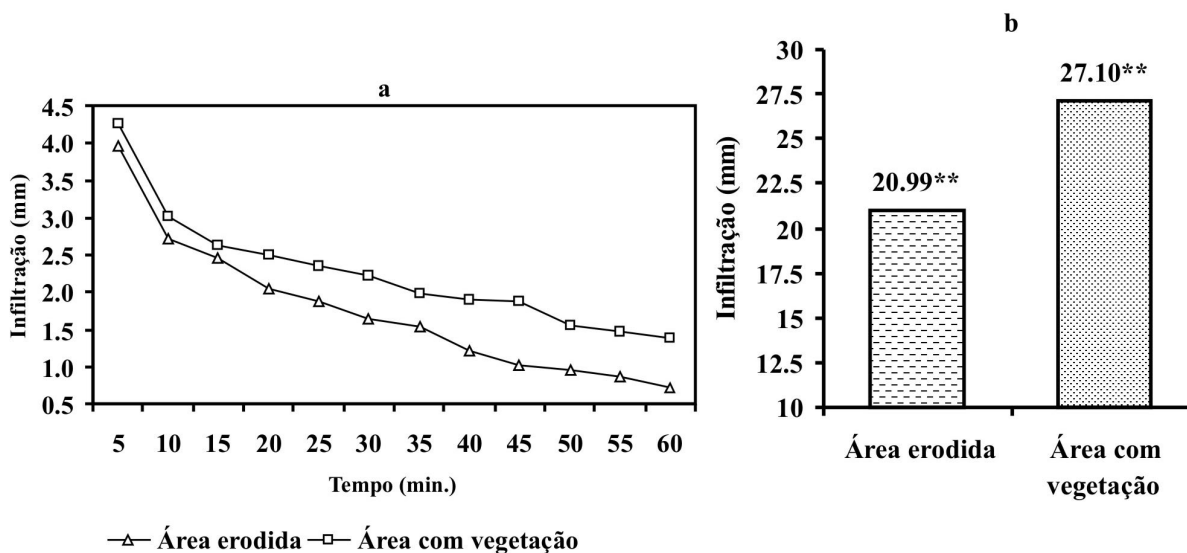


FIGURA 3. Avaliação da infiltração: a) comportamento da infiltração durante ensaio de 60 minutos, b) comparação de infiltração total nas duas áreas. Nota: n = 6, **diferença significativa ao nível de 1% pelo Teste t.

A taxa de erosão em uma vertente se dá em função da ação conjunta de ambos os processos salpico (efeito splash) e escoamento superficial (Battany & Grismer, 2000). Contudo, o impacto da gota com pouco escoamento superficial não é um efetivo agente erosivo (Emmett, 1978). O transporte de sedimento realizado por escoamento superficial em ravinas é extremamente potente sendo responsável por 50 a 90% da carga de sedimentos removidos de uma vertente (Knighon, 1998).

Nas áreas intensamente erodidas (Foto 3) o processo de erosão ocorre pela ação conjunta do efeito do salpico que prepara o material por meio de destacamento de partículas, em seguida, o escoamento superficial raso transporta o material para dentro da ravina, onde o fluxo é concentrado, e possui maior capacidade para transportar sedimento. Conseqüentemente, nas áreas erodidas a erosão ocorre em dois domínios: entre as ravinas e nas ravinas. A associação de processos areolares com lineares amplia a drenagem do sistema de ravinas aumentando a mancha degradada.

Durante observações de campo, especialmente, após a ocorrência de chuvas verificou-se que frequentemente as diversas ravinas na área degradada apresentavam-se sem acúmulo de material dentro dos canais. Isto pode evidenciar que o sistema apresenta



FOTO 3. Sistema de ravinas em mancha degradada: erosão laminar entre ravinas e erosão em sulco. Notem-se matações e material grosseiro isolados pelo transporte seletivo, árvores de erva mate mortas e raízes expostas (Foto: Thomaz, 2000).

limite de destacamento de partículas, ou seja, a capacidade de transporte é maior do que a capacidade de fornecimento de material proveniente da ação do salpico e fluxo difuso (Bryan, 2000, Morgan, 2005).

De maneira geral os processos hidro-erosivos

superficiais levam a degradação do solo por meio da modificação das características físico-químicas (densidade aparente, porosidade, capacidade de infiltração, pH, macro-nutrientes e umidade) e biológicas (cobertura vegetal e adicionamento de matéria orgânica) (Tabela 4). Tal dinâmica forma um gradiente físico-químico e biológico do centro da macha degradada para as bordas (Foto 3).

A análise de fertilidade química (Tabela 4) comparando a área erodida com área com cobertura vegetal (entrelinhas) registrou significativas diferenças. A maioria dos parâmetros químicos mensurados foi inferior na área erodida como: matéria orgânica, cálcio, magnésio e potássio. Além disso, a saturação por bases foi muito baixa, as expensas, de uma maior presença de alumínio ocupando o complexo de troca do solo.

TABELA 4. Análise química do solo, em área erodida e em área com cobertura vegetal (entrelinha com vegetação).

Parâmetros avaliados	Área erodida	Área com cobertura vegetal (entrelinhas)
Teor de matéria orgânica (g/dm ³)	22,78	40,21
pH	4,00	4,20
Al Trocável (cmol/dm ³)	1,41	0,93
Cálcio – Ca (cmol/dm ³)	1,16	3,71
Cálcio +Magnésio (Ca +Mg) (cmol/dm ³)	2,13	5,74
K = Potássio (cmol/dm ³)	0,10	1,18
P = Fósforo (mg /dm ³)	0,72	0,72
S = Soma de Bases trocáveis	2,23	6,92
T = Capacidade de troca de Cátions	17,39	19,98
V = Saturação de Bases em (%)	12,82	34,62
Al = Saturação de Alumínio em (%)	38,74	11,85

A pobreza de nutrientes, presença de alumínio, aliado as mudanças físico-hídricas cria na área erodida condições difíceis para o estabelecimento e manutenção de cobertura vegetal. Aliás, o escoamento superficial transporta até mesmo as sementes que são depositadas no interior da mancha degradada. Apenas espécies mais adaptadas às condições de solos degradados como: capim barba-de-bode (*Aristida pallens*), rabo-de-burro (*Andropogon sp.*), vassourinha (*Miconia candolenna* e outras), capim caninha (*Andropogon*

icanus), capim flexa (*Trystachia chrysothirx*), entre outras espécies conseguem se estabelecer nas bordas da área degradada (Foto 3).

Por fim, o baixo teor de matéria orgânica e a inexistência de cobertura vegetal sobre o solo expõem os agregados a constantes ciclos de umedecimentos afetando a estabilidade dos agregados, logo, facilita o processo de destacamento de partículas causado pelo salpico e pelo fluxo difuso. Deste modo, potencializa e amplia o processo erosivo na área degradada.

CONCLUSÕES

A área cultivada com erva-mate apresentou erosão em níveis severos, sendo que alguns registros de remoção de solo se aproximam da taxa de erosão em *badlands*. A remoção de solo está acima do nível médio de tolerância para solos pouco profundos. A manutenção de vegetação nas entrelinhas reduziu significativamente a remoção de solo em comparação às áreas sem cobertura vegetal. Por outro lado, a prática de coroamento das árvores tendeu a expor o topo do solo aos processos erosivos.

A evidência botânica (raízes expostas), em conjunto com as parcelas de pinos de erosão permitiu estimar que em torno de 18 anos fossem necessários para que a área pesquisada chegasse ao estágio atual

de degradação do solo. Aliás, o cruzamento de diferentes registros (ex. evidências botânica, pinos de erosão, densidade do solo e perfil diagnóstico) mostrou-se importante para o diagnóstico da degradação do solo e estimativa de perda de solo.

Nos núcleos degradados o processo erosivo ocorre pela ação conjunta do salpico-fluxo difuso e fluxo concentrado (erosão entre ravina e em ravina). Essa forma erosiva apresenta grande capacidade de produção e de transporte de sedimento. Nesses núcleos forma-se um gradiente edafológico (físico-químico-biológico) do interior para as bordas dificultando o estabelecimento e a manutenção de biomassa, consequentemente amplia a mancha degradada. Assim,

as condições de fertilidade, infiltração de água no solo, densidade e porosidade do solo foram piores da área erodida em comparação a área com cobertura vegetal (entrelinha). As características morfoedológicas

(relevo-solo) da vertente em análise exigem práticas conservacionistas mais intensas, tanto físicas quanto edáficas para frear o processo erosivo acelerado já instalado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATTANY, M.C. & GRISMER, M.E. Rainfall runoff erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope cover and surface roughness. **Hydrological Processes**, n. 14, p. 1289-1304, 2000.
2. BRYAN, R.B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. **Geomorphology**, n. 32, p. 385-415, 2000.
3. CASSETI, V. Algumas considerações a respeito dos fenômenos pluvio-erosivos em Goiânia - Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, n. 3, p. 161-180, 1983.
4. De PLOEY, J. The ambivalent effects of some factors of erosion. **Memorial Institute Géologie of University Leuven**, T. XXXI, p. 171-181, 1981.
5. De PLOEY, J. & GABRIELS, D. Measuring soil loss and experimental studies. In: KIRKBY, M.J. & MORGAN, R.P.C. (Org). **Soil erosion**. London: John Wiley & Sons, p. 63-108, 1980.
6. DUNNE, T. Studying patterns of soil erosion in Kenya. **FAO, Soils Bulletin**, n. 33, p. 109-122, 1977.
7. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região centro-sul do estado do Paraná**. Curitiba, 181 p., 1979. (Informe preliminar).
8. EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 2ª ed., 212 p., 1997.
9. EMBRAPA - CENTRO NACIONAL EM PESQUISA EM FLORESTA. **Levantamento expedito e aptidão dos solos da microbacia do Rio Lajeado e caracterização climática do alto curso do Rio Jordão**. Colombo-PR, 32 p., 1999. (mimeografado).
10. EMMETT, W.W. Overland flow. In: KIRKBY, M.J. (Org.), **Hillslope Hydrology**. New York: John Wiley & Sons, Cap. 5, p. 145-176, 1978.
11. KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes: a new perspective**. London: Arnold, 383 p., 1998.
12. LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 178 p., 2002.
13. LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 301 p., 1996.
14. MACKENSEN, J.; KLINGE, R.; RUHIYAT, D.; FÖLSTER, H. Assessment of management-dependent nutrient losses in tropical industrial tree plantations. **Ambio**, v. 32, n. 2, p. 106-112, 2003.
15. MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J. G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 27, p. 395-403, 2003.
16. MENDES, W. & CASTRO, A.F. **Limitações do uso dos solos do Estado do Paraná por suscetibilidade à erosão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 34 p., 1984.
17. MONTEIRO, C.A.F. O clima da Região Sul. **Geografia regional do Brasil**. Tomo I. Rio de Janeiro: Biblioteca Brasileira, IBGE, Cap. 3, p. 117-169, 1963.
18. MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion and Conservation**. Blackwell, Oxford, 304 p., 2005.
19. PRAT KRICUN, S.D & BELINGHERI, L.D. Disposición, distanciamiento y densidad de plantaciones de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St Hil). In: CURSO DE CAPACITACIÓN EN PRODUCCIÓN DE YERBA MATE, Cerro Azul, p. 27-30, 1992.
20. REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Monole, 188 p., 1990.
21. RIBEIRO, J.C. & SALOMÃO, F.X.T. Abordagem morfoedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do Alto Rio da Casca, MT. **Geociências**, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.
22. ROBAINA, L.E.; NETO, S.F.; PAULA, R.M.; PEREIRA, V.P. Processo erosivo acelerado no RS: voçorocamento no município de Cacequi. **Geografia**, v. 27, n. 2, p. 109-120, 2002.
23. RUFINO, R.L. & BISCAIA, R.C.M. Avaliação da Erosão do Solo – PSA – Programa Manejo de Solo e Água. Atividade de Pesquisa. Estudo da Erodibilidade do Solo Latossolo Roxo Distrófico no Período de 1976 – 1999. Londrina: IAPAR-PR, **Relatório Final do Projeto**, 2000.
24. SCHNABEL, S. Using botanical evidence for the determination of erosion rates in semi-arid tropical areas. in: BRYAN, R.B. (Editor) Soil erosion, land degradation and social transition: geoeological analysis of semi-arid tropical region, Kenya. **Catena**, Advances in Geoeology, n. 27, p. 31-45, 1994.
25. SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, O.R.; OLIVEIRA, F.A.P. Efeito de diferentes coberturas vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 10, p. 289-292, 1986.
26. SIRVENT, J.; DESIR, G.; GUTIERREZ, M.; SANCHO C.; BENITO, G. Erosion rates in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NE-Spain). **Geomorphology**, n. 18, p. 61-75, 1997.
27. SORRENSEN, W.J. & MONTOYA, L.J. Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná. Londrina, IAPAR, **Boletim Técnico**, n. 21, 110 p., 1989.
28. STEIN, D.P.; PONÇANO, W.L.; SAAD, A.R. Erosão na bacia do Rio Santo Anastácio, Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 143-162, 2003.
29. THOMAZ, E.L. & LUIZ, J.C. Mensuração de remoção do solo entre ravinas por meio de técnica dinâmica e volumétrica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5 e ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1, 2004, Santa Maria. **Anais de Trabalhos Completos...** Santa Maria: UFSM, Geomorfologia e Riscos Ambientais, 2004, p. 1-14.
30. VIERA, S. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas, 185 p., 1999.
31. YOUNG, A. & SAUNDERS, I. Rates of surface processes and denudation. In: ABRAHAMS, A. D. **Hillslope processes**. United Kingdom: The Binghamton Symposia in Geomorphology, international Series, n. 16, Cap. 1, p. 3-27, 1986.

Manuscrito Recebido em: 14 de junho de 2007
Revisado e Aceito em: 27 de novembro de 2007