



MENSURAÇÃO DE REMOÇÃO DO SOLO ENTRE RAVINAS POR MEIO DE TÉCNICA DINÂMICA E VOLUMÉTRICA

¹Edivaldo Lopes Thomaz e ²José Carlos Luiz
Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO
Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 - Cx. Postal, 3010.
Fone/fax: (042) 629 – 1444, Ramal 261.
CEP 85.040-430 - Guarapuava - PR.
E-mail: Thomaz@almix.com.br

Resumo

O presente estudo apresenta os resultados obtidos na mensuração do rebaixamento da superfície e mobilização de solo (R/M) entre ravinas (*interrill*). Os objetivos foram: a) mensurar R/M entre ravinas por meio de três parcelas; parcela fechada (dinâmica), pino fixo (volumétrica), pino móvel (volumétrica) e perfis - medida indireta sobre superfície remanescente (volumétrica); b) verificar a variabilidade da remoção de acordo com a técnica empregada. O R/M registrado em ordem crescente foi: pino fixo -0,35cm/4,34 kg/m²; parcela fechada ≈-0,412 cm/5,11 kg/m²; perfis - medida indireta -1,45cm/17,92 kg/m² e pino móvel -2,05cm/25,42 kg/m². O menor R/M na parcela fechada e pino fixo se deveu as características do sítio em que foram instaladas e, principalmente, pela ruptura do escoamento superficial. Entretanto, dentro do delineamento proposto, o conjunto de técnicas/procedimentos possibilitou estimativa satisfatória acerca do processo erosivo analisado.

Palavras-chave: erosão do solo, entre ravinas, técnicas dinâmica e volumétrica.
(Eixo temático: Análise e Diagnóstico de Processos Erosivos)

Introdução

A partir de 1950, a Geografia Física passa a se interessar de forma mais explícita pela mensuração de processos (quantificação). Dentre os processos geomórficos, a erosão do solo tem sido uma das áreas mais estudadas pelos cientistas da Geografia e áreas afins. Isto pode ser constatado pela variada bibliografia disponível como KIRKBY; MORGAN (1980), HART (1986), BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), HUDSON (1993), GUERRA (1995), BRYAN (2000), entre outros.

O processo erosivo, em linhas gerais compreende três fases interdependentes: remoção, transporte e deposição das partículas de solo. Segundo THORNES (1978), o termo processo define ação dinâmica ou evento nos sistemas geomorfológicos envolvendo aplicação de força sobre o relevo (gradiente). Entre os agentes (força) estão a energia cinética da chuva e o escoamento superficial, elementos preponderantes na área de estudo. Esses agentes, por sua vez, tendem a romper as resistências dos materiais, causando mudança nas propriedades dos

¹ Professor Assistente, Bolsista do CNPq.

² Licenciado em Geografia – UNICENTRO.



mesmos tais como, deformação, mudança de posição ou mudança na estrutura físico-química do material.

A mensuração da erosão do solo tem sido pesquisada nas mais variadas escalas, desde o padrão global de denudação até pequenas bacias de drenagem e vertentes. No entanto, entre as formas mais comuns da pesquisa em erosão do solo estão as mensurações por meio do uso de parcelas fechadas, calhas coletoras abertas e pinos de erosão. Essas técnicas são empregadas especialmente em estudo de campo.

A investigação de processo, quando feita em campo, busca levantar dados (têmporo-espacial) acerca do fenômeno estudado; analisar a configuração do sistema em que ocorre o processo a ser explicado; observação direta dos processos no contexto em que ocorrem (magnitude, frequência e intensidade); estabelecimento das variáveis envolvidas no sistema (estrutura e dinâmica); delineamento para mensuração e experimento de acordo com o processo ou forma preponderante (THORNES, 1978; HART, 1986).

A despeito da mensuração de remoção de solo ela ocorre de duas maneiras: volumétrica e dinâmica (De PLOEY e GABRIELS, 1980). Na primeira o material transportado é registrado após a remoção, enquanto na segunda a remoção do material é registrada na medida em que ocorre o processo. Nesta última, pode-se inferir a remoção em termos volumétricos a partir do material removido. Diante disso, foram empregados os dois procedimentos em uma área sobre forte erosão laminar entre ravinas.

A área de estudo localiza-se no município de Guarapuava-PR (coordenadas 25° 24' S, 51° 24' W). A agricultura familiar na bacia do rio Guabiroba ocupa em geral áreas com baixa ou mesmo sem aptidão para uso agrícola. Acrescenta-se, ainda, o emprego de tecnologia de nível nulo, com adoção de processos, implementos e ferramentas rudimentares e primitivas. Dessa forma, constatou-se por toda bacia pequenos núcleos de degradação de terras.

No local da mensuração da remoção do solo o uso da terra esta sob pastagem degradada. A característica da degradação da área é em geral resultado de forte erosão laminar somado a intenso processo de ravinamento, que leva a perda da capacidade de suporte de biomassa.

Por estas características acompanhou-se nesta área a remoção do solo e rebaixamento da superfície (dinâmica e volumétrica) por meio de parcela fechada e de pino fixo (De PLOEY e GABRIELS, 1980), pino móvel modificado a partir (HUDSON, 1993) e medidas indiretas por meio de superfícies remanescentes. Os objetivos foram: a) mensurar a remoção do solo entre



ravinas por meio de três parcelas; parcela fechada (dinâmica), pino fixo (volumétrica), pino móvel (volumétrica) e perfis - medidas indiretas (volumétrica); b) verificar a variabilidade da remoção de acordo com a técnica empregada.

Material e método

De acordo com o objetivo estabelecido anteriormente utilizaram-se duas técnicas para a mensuração da mobilização do solo entre ravinas. A técnica dinâmica consistiu em uma parcela fechada construída com chapas galvanizadas com área útil avaliada de 1 m² (figura 1.a). As chapas galvanizadas formam o quadro da parcela e são conectadas a uma calha coletora. Estas, por sua vez, possui saída para um recipiente (capacidade de 0,020 m³) que armazena sedimento e água. O monitoramento foi realizado diariamente entre novembro de 2001 a março de 2003 (17 meses).

Dentro da referida parcela foi plotado uma rede formada por 11 pinos de erosão com 25 cm de comprimento, sendo que parte (10 cm) foi introduzida no solo e a restante (15 cm) ficou exposta para monitorar o rebaixamento (figura 1.a). Devido à dimensão dessa parcela (micro-parcelas, 1x1m e 2x1m), elas são empregadas para investigações preliminares sobre escoamento e erosão do solo em que o objetivo principal é comparar o escoamento em diferentes sistemas de uso (HUDSON, 1993).

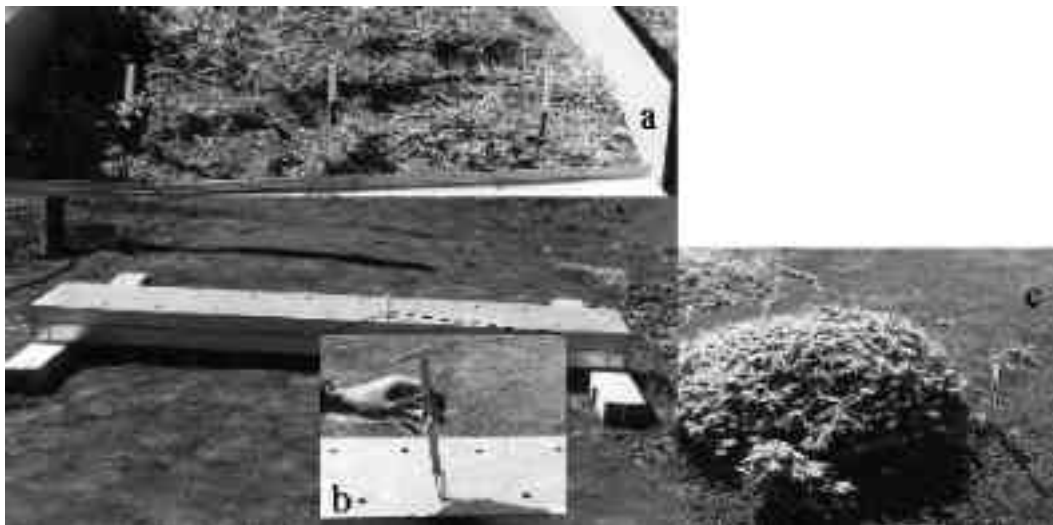


Figura 1 – Técnicas empregadas na mensuração do rebaixamento da superfície e mobilização de solo: a) visão parcial de parcela fechada associada a pinos fixos; b) parcela de pinos móveis e procedimento de medida; c) superfície remanescente entre ravinas.

A parcela com pino móvel (figura 1.b) foi instalada por meio de duas laterais de madeira (viga) com 1,0 m de comprimento. As vigas de madeira foram colocadas no sentido do declive do terreno, lado a lado, a uma distância de 1,2 m uma da outra. Elas foram dispostas de forma a



ficarem firmemente pressas ao solo para que não houvesse movimento durante a mensuração. Demarcaram-se os locais para a fixação da plataforma. Esse cuidado foi para que a rede de pino móvel avaliasse sempre a mesma superfície durante o monitoramento. A técnica que chamamos aqui de pino móvel foi modificada a partir de *Profile meters*, HUDSON (1993).

A plataforma possui área útil de 0,325 m² com 13 furos para introdução do pino. Os pinos são distribuídos em duas linhas: uma com 7 e outra com 6 pinos, distantes em torno de 15 cm um do outro, de modo que os pinos de uma linha não fiquem alinhados com a outra. A mensuração da remoção do solo e rebaixamento da superfície é feita na parte superior da plataforma em que o pino é plotado. Dessa forma, o pino é introduzido pelo orifício existente na plataforma e ao tocar o solo é verificado a alteração da superfície do solo. Portanto, à medida que ocorre o rebaixamento da superfície, o pino acompanha essa variação (perfil). Monitorou-se essa parcela entre fevereiro de 2002 a março de 2003 (13 meses).

As medidas foram feitas utilizando-se paquímetro (figura 1.b). Durante a condução do experimento houve o cuidado de se usar o mesmo pino (medindo 25 cm x 1 cm). A ponta do pino foi achatada para que ao tocar o solo não houvesse penetração no topo do solo. Além disto, efetuou-se a mensuração do mesmo lado do pino para evitar variação na verificação de rebaixamento. Ressalta-se que tanto a parcela com pino fixo, quanto a com pino móvel foram mensuradas sempre no dia 8 de cada mês.

Outro procedimento empregado foram medidas indiretas feitas a partir de superfícies remanescentes (SR) existentes entre as ravinas (montículos isolados) (figura 1.c). Para tanto, apoiado nas superfícies remanescentes foi traçada uma rede formando 12 perfis. As medidas foram realizadas por meio da disposição transversal de uma ripa ligando uma superfície remanescente à outra. Assim, a ripa formou uma linha de referência para as medidas. As leituras foram feitas com trena metálica. Ao todo, foram realizadas 405 medidas. Todavia, apresentar-se-á apenas o resultado final de cada perfil, bem como o resultado médio de todos eles. A mensuração dos perfis ocorreu sempre no dia 2 dos meses de fevereiro, maio, agosto, novembro de 2002 e fevereiro de 2003 (13 meses).

Além da mensuração da mobilização e rebaixamento da superfície do solo foram avaliadas as condições físico-químicas da área em estudo da seguinte forma:



- a) Análises granulométricas nas profundidades 0-20 cm e 40-50 cm onde as amostras foram formadas a partir de 5 sub-amostras tomadas ao acaso em cada profundidade e posteriormente homogeneizadas.
- b) Análise de fertilidade na profundidade 0-20 cm em que a amostra foi formada a partir de 5 sub-amostras tomadas ao acaso na referida profundidade e posteriormente homogeneizadas.
- c) Avaliação da densidade global do solo ocorreu nas profundidades 0-5 cm (topo do solo); 5-10 cm; 20-30 cm e 40-50 cm. Utilizaram-se anéis de metal com 95,5 cm³, totalizando 9 amostras em cada profundidade.
- d) Avaliação da porosidade total ocorreu nas profundidades 0-5 cm (topo do solo); 5-10 cm; 20-30 cm e 40-50 cm. Utilizaram-se anéis de metal com 95,5 cm³, totalizando 9 amostras em cada profundidade.
- e) Avaliação da capacidade de suporte do solo (consistência) ocorreu no topo do solo e nas profundidades 5-10 cm; 20-30 cm e 40-50 cm. As amostras foram retiradas com umidade do solo em capacidade de campo REICHARDT (1990). Utilizou-se o equipamento, H-4200 *Pocket soil penetrometer*. Este instrumento determina a resistência de compressão e avalia a resistência de “cisalhamento” por meio da penetração de uma haste no material avaliado. O aparelho registra resistência de até 4,5 kgf/cm².

As amostras acerca da densidade global, porosidade total e capacidade de suporte foram retiradas em 3 trincheiras com dimensões de 80x60 cm. Em cada profundidade foram retiradas 3 amostras indeformadas (densidade e porosidade) totalizando 9 amostras nas 3 trincheiras. No caso da capacidade suporte foram coletadas 7 amostras em cada profundidade totalizando 21 amostras nas 3 trincheiras. As demais amostras foram retiradas no topo do solo.

Os parâmetros físico-químicos registrados na área de estudo foram comparados com uma área controle sob capoeira em regeneração (8 anos). Este procedimento teve por finalidade comparar de maneira relativa e absoluta os parâmetros registrados na área com erosão, com uma área em que não ocorria tal processo. Destaca-se, ainda, que as análises físico-químicas seguiram as recomendações do manual de métodos de análise de solo EMBRAPA (1997).

O cálculo do material mobilizado foi obtido a partir da equação 1.



Equação 1

$$E = R \times D_G / 100$$

E = Erosão (remoção do solo em kg/m^2).

R = Rebaixamento da superfície (cm).

D_G = Densidade global do material (kg/m^3).

O monitoramento da precipitação diária utilizada nas correlações dos experimentos foi feito por meio de 1 pluviômetro (Hellmann) instalado próximo da área de estudo.

Resultados e discussão

A área de estudo se localiza em um terraço fluvial com declividade variando de 5 a 10%. O uso da terra esta sob pastagem e as características granulométricas do material superficial apresentou na profundidade de 0 a 20 cm: 11% de areia; 22% de silte e 67% de argila e na profundidade entre 40 a 50 cm: 8% de areia; 16% de silte e 76% de argila. Grosso modo, o solo é argiloso. Porém, ressalta-se a maior presença de silte na profundidade de 0 a 20 cm. A profundidade efetiva do solo foi estimada em torno de 1,5 m.

Em relação a análise química (fertilidade), a área erodida apresentou todos os parâmetros avaliados em termos qualitativos inferiores ao da área sob capoeira (Tabela 1). Por exemplo, a quantidade de carbono (matéria orgânica) na capoeira foi 236,6% superior a área erodida, a saturação por bases avaliada foi muito baixa (8,66%). Por outro lado, a saturação por alumínio foi muito alta (63,83%).

Tabela 1- Análise química do sítio avaliado comparado com área de capoeira (≈ 8 anos)

Uso da terra	mg/dm^3			g/dm^3			$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de solo			%
	P ¹	C	pH ²	Ca ³	Mg ³	K ¹	V ⁴	Al ⁵		
Área erodida	0,3	15,36	4,2	0,82	0,23	0,1	8,66	63,83		
Capoeira (regeneração)	1,9	51,71	4,7	9,07	2,66	0,44	52,34	2,4		

¹Mehlich; ²Ca Cl₂ 0,001 M; ³KCl M; ⁴Saturação por bases; ⁵Saturação por Alumínio.

Fonte: Instituto Agrônomo do Paraná (2002).

Na tabela 2 são apresentadas as características físicas do solo em diferentes profundidades. A densidade superficial média no topo do solo (0 a 5 cm) foi de $1,24 \text{ g/cm}^3$, ou seja, densidade 9,74% superior ao valor médio obtido nas demais profundidades que foi de $1,13 \text{ g/cm}^3$. Em contrapartida, a porosidade total no topo do solo (53,1%) foi 8,3% inferior à média registrada nas demais profundidades (57,5%). De maneira geral, o topo do solo foi mais denso e menos poroso entre 0 a 5 cm de profundidade. A partir desse limite houve pouca variação nessas propriedades físicas.



A capacidade de suporte decaiu exponencialmente ($r^2 = 0,709$) à medida que aumentava a profundidade. Esse decréscimo foi mais significativo entre a profundidade entre 0 a 30 cm. Assim, entre 0 a 5 cm ($4,15 \text{ kgf/cm}^2$) a resistência foi 35,18% superior ao registrado entre 5 a 10 cm ($3,07 \text{ kgf/cm}^2$), que por sua vez, foi 36,4% superior a resistência mensurada na profundidade entre 20 a 30 cm ($2,25 \text{ kgf/cm}^2$). Na última profundidade ($2,05 \text{ kgf/cm}^2$) a resistência foi 9,76% inferior em relação à profundidade anterior.

Comparando-se os valores obtidos na área erodida com a de capoeira é possível verificar de modo qualitativo/quantitativo parte dos efeitos da erosão, especialmente no topo do solo (0 a 5 cm). A densidade no topo do solo sob capoeira foi $0,83 \pm 0,09 \text{ g/cm}^3$ (49,4%) menos densa. A porosidade registrada foi de $68,6 \pm 3,3$ (29,2%) mais porosa. Por fim, a capacidade de suporte no topo do solo na capoeira foi inferior a $0,50 \text{ kgf/cm}^2$.

Tabela 2 – Características físicas do solo, densidade global, porosidade total e capacidade de suporte de acordo com a profundidade.

Profundidade (cm)	Parâmetros físicos avaliados (Média e Desvio Padrão)		
	Densidade global (g/cm^3)	Porosidade total (%)	Capacidade de suporte (kgf/cm^2)
0 - 5	$1,24 \pm 0,05$	$53,1 \pm 2,01$	$4,15 \pm 0,39$
5 - 10	$1,14 \pm 0,03$	$57,2 \pm 1,12$	$3,07 \pm 0,65$
20 - 30	$1,12 \pm 0,03$	$57,9 \pm 1,04$	$2,25 \pm 0,49$
40 - 50	$1,13 \pm 0,04$	$57,4 \pm 1,63$	$2,05 \pm 0,41$

Nota: ¹Média de 9 amostras; ²Média de 21 amostras.

A tabela 3 resume a precipitação, escoamento e mobilização de material na parcela ao longo de 17 meses de monitoramento. A mobilização de solo na parcela ocorreu de modo mais intenso em dois períodos: novembro e dezembro de 2001, em que houve remoção de $2,175 \text{ kg/m}^2$ ou 42,5% do total do período. A outra fase com remoção significativa ocorreu na primavera de 2002 com $1,681 \text{ kg/m}^2$ representando 32,9% do total removido no período. Dessa forma, nestes dois momentos, a remoção totalizou $3,856 \text{ kg/m}^2$, isto é, 75,4% do total da mobilização ocorrida no período. Essa mobilização está em parte associada ao escoamento superficial gerado pelas chuvas ocorridas nestes meses. Em relação ao rebaixamento, estimou-se para a parcela em torno de $-0,412 \text{ cm}$.

Grosso modo, a mobilização de material esteve associada a quantidade de precipitação ocorrida nessas fases pluvioerosivas. Contudo, verificou-se uma maior correlação do escoamento superficial no transporte de material $r = 0,569$ (50,53% superior), em detrimento de uma menor correlação ao total precipitado $r = 0,378$. Ambos os parâmetros foram significantes



($\alpha 95\%$). Constatou-se, ainda, um aumento no coeficiente de escoamento na medida do aumento das classes de chuva: 0,7% (1 a 9,9 mm); 4,6% (10 a 19,9 mm); 5,6% (20 a 29,9 mm); 7,5% (30 a 39,9 mm) e 9,8% (>40 mm). O coeficiente de escoamento no período avaliado foi de 7,1%. Contudo, houve variabilidade nos valores mensais e principalmente de acordo com a característica da precipitação (quantidade e intensidade).

Tabela 3 – Evolução da precipitação, escoamento e mobilização de solo em parcela fechada (dinâmica) entre novembro de 2001 a março de 2003.

Meses	Precipitação (mm)	Escoamento (mm/m ²)	Coeficiente de escoamento (%)	Mobilização de solo (kg/m ²)	Mobilização relativa de solo (%)
Nov	161,8	18,3	11,3	1,023	20,0
Dez	146,3	16,8	11,5	1,152	22,5
Jan	204,5	8,5	4,1	0,222	4,3
Fev	98,7	2,5	2,5	0,032	0,6
Mar	105,2	3,3	3,1	0,064	1,3
Abr	81,0	1,7	2,1	0,021	0,4
Mai	270,0	18,0	6,7	0,249	4,9
Jun	29,0	0,2	0,6	0,008	0,2
Jul	59,5	0,0	0,0	0,000	0,0
Ago	70,3	1,8	2,6	0,001	0,0
Set	177,0	15,0	8,4	0,047	0,9
Out	245,0	17,5	7,2	0,310	6,1
Nov	194,8	4,7	2,4	0,502	9,8
Dez	185,0	22,0	11,9	0,869	17,0
Jan	89,5	3,9	4,3	0,072	1,4
Fev	207,8	17,6	8,5	0,263	5,2
Mar	207,0	29,4	14,2	0,274	5,4
Total	2532,5	181,1	7,1	5,11	100,0

A parcela de pino fixo teve um rebaixamento médio de -0,35 cm, 4,34 kg/m². No entanto, ao se tomar apenas os 6 pinos em que ocorreram rebaixamento, a média atinge -0,973 cm o que corresponde a 12,065 kg/m². Em contrapartida, 5 pinos não registraram rebaixamento havendo acúmulo de 4,89 kg/m². Porém, no delineamento feito considerou-se a evolução da superfície como um todo. Nas análises dos pinos fixos não foi possível realizar tratamento semelhantes às das outras parcelas devido a pouca variabilidade de uma coleta para outra. Neste caso, foi considerado o valor da superfície na leitura inicial menos a leitura final (figura 2).

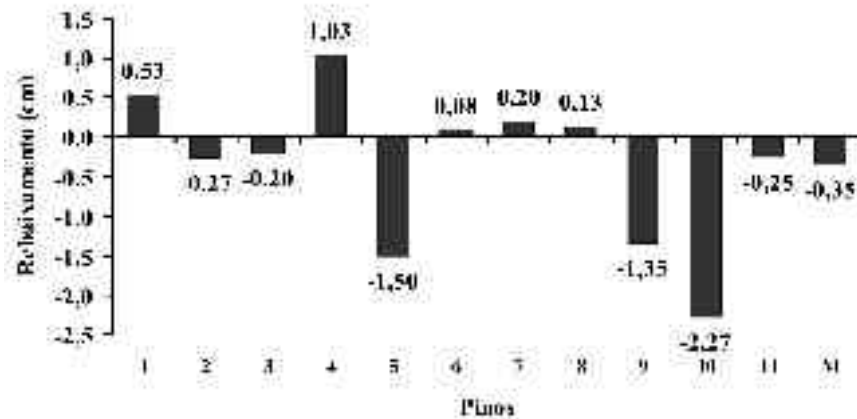


Figura 2 – Mobilização de material na parcela de pino móvel (técnica volumétrica).
Nota: *M*, representa o rebaixamento médio da superfície da parcela.

A tabela 2 apresenta a evolução da parcela de pino móvel durante os 13 meses de monitoramento e a figura 3.a e 3.b destaca entre a relação do rebaixamento da superfície e a quantidade de material mobilizado. Nesta parcela houve forte correlação, r 0,835, entre a precipitação e o rebaixamento da superfície/mobilização de solo.

Da mesma forma que na parcela fechada, na de pino móvel ocorreram períodos em que o R/M foi mais intenso. Entre outubro a dezembro ocorreu a mobilização de 44,4% de solo do período (11,28 kg/m²). Além disto, nestes 3 meses houve acúmulo de 705,8 mm, 37,4% do total precipitado. Outros 2 meses merecem destaque devido a mobilização alcançada: junho com 12,2% (3,10 kg/m²) e março de 2003 com 13,7% (3,47 kg/m²).

Assim, esses 5 meses foram responsáveis por 70,3% da mobilização (17,85 kg/m²). Na figura 3.a e 3.b observa-se à marcha do R/M na parcela de pino móvel. No início, entre março e junho ocorreu um ligeiro aumento do R/M. Posteriormente, houve uma estabilização entre junho e setembro, período de baixa pluviosidade 341,8 mm (18,1% do total). Por fim, a partir de outubro até março de 2003 ocorreu rápido aumento absoluto no R/M. Ao final do monitoramento foi registrado um rebaixamento da superfície de -2,05 cm resultando em 25,42 kg/m² de mobilização de material.

Tabela 2 - Evolução da precipitação, rebaixamento e mobilização de solo em parcela de pino móvel (volumétrica) entre fevereiro de 200 a março de 2003.

Meses	Precipitação (mm)	Rebaixamento médio (cm)	Mobilização de solo (kg/m ²)	Mobilização absoluta de solo	
				mensal (kg/m ²)	Mobilização de solo mensal (%)
Fev	0	0	0,00	0,00	0,0
Mar	107,1	0,18	2,23	2,23	8,8
Abr	76,3	0,3	3,72	1,49	5,9
Mai	168	0,47	5,83	2,11	8,3



Continuação da tabela anterior

Jun	183	0,72	8,93	3,10	12,2
Jul	56	0,68	8,43	-0,50	-2,0
Ago	63,8	0,7	8,68	0,25	1,0
Set	39	0,7	8,68	0,00	0,0
Out	249	0,96	11,90	3,22	12,7
Nov	203	1,37	16,99	5,08	20,0
Dez	253,8	1,61	19,96	2,98	11,7
Jan	106,5	1,61	19,96	0,00	0,0
Fev	131,8	1,77	21,95	1,98	7,8
Mar	249	2,05	25,42	3,47	13,7
Total	1886,3	2,05	25,42	25,42	100,0

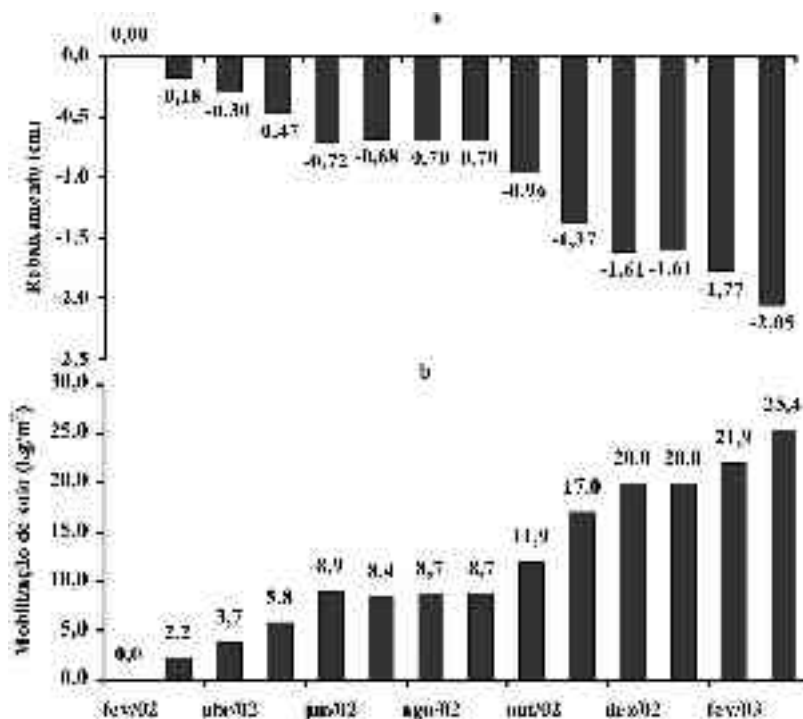


Figura 3 – Técnica de pino móvel a) evolução do rebaixamento mensal da superfície; b) evolução da mobilização de material mensal.

Nota: Média referente a 26 pinos

A medida indireta por meio dos perfis apresentou R/M variando entre -0,69 cm (8,56 kg/m²) a -2,36 cm (29,26 kg/m²) (figura 4). A média de rebaixamento da superfície de todos os perfis foi de $-1,45 \pm 0,366^*$ cm, e, por consequência, a média de mobilização de material foi de $17,92 \pm 4,54$ kg/m². Portanto, dentro do intervalo estabelecido o R/M pode variar entre -1,08 cm (13,37 kg/m²) a -1,81 cm (22,46 kg/m²). Apesar da amplitude este procedimento apresentou estimativa satisfatória para R/M entre ravinas.

* Intervalo de confiança para a média ao nível de significância de 95%.

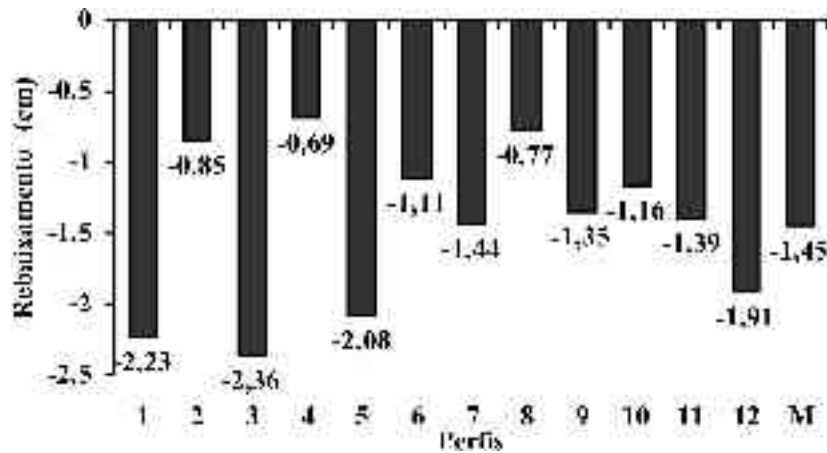


Figura 4 – Rebaixamento da superfície nos perfis medidos de forma indireta.

Nota: M, representa o rebaixamento médio da superfície de todos perfis.

Em resumo, comparando-se o R/M nas três parcelas avaliadas e nos perfis (Tabela 4) verificou-se convergência nos resultados obtidos entre a parcela fechada e nos pinos fixos inseridos dentro dela. A mobilização nos pinos fixos foi 16,6% (4,34 kg/m²) inferior ao coletado na parcela fechada (5,11 kg/m²). Em termos de rebaixamento da superfície estimou-se para a parcela -0,412 cm e nos pinos fixos -0,350 cm.

A mobilização na parcela de pino móvel registrou média 25,42 kg/m² com rebaixamento médio da superfície de -2,05 cm. Este resultado foi em torno 5 vezes superior ao obtido tanto na parcela fechada como na parcela de pino fixo. Ressalta-se que a parcela de pino móvel teve 4 meses a menos de monitoramento.

Os perfis registraram R/M inferior apenas ao obtido na parcela de pino móvel (41,9%). Entretanto, dentre os procedimentos os perfis foram as amostras que mais representaram a diversidade de sítios entre ravinas como, divisor de ravinas, meio divisor de ravina, fundo próximo ao canal da ravina, ou seja, eles foram traçados nos mais diversos sentidos.

Dessa maneira, dentro do intervalo de confiança estabelecido para o limite superior da média (-1,81 cm; 22,46 kg/m²) o R/M dos perfis se aproxima da média obtida na parcela de pino móvel (-2,05 cm; 25,42 kg/m²), sendo neste caso, apenas 13,18% inferior.

Em relação à amplitude dos valores registrados na parcela fechada e pino fixo ela se deve em grande parte as características dos sítios em que se monitoraram as referidas parcelas. Pois, nestas a cobertura do solo era inferior a 20%. Na parcela de pino móvel e na maior parte dos perfis o solo não possuía cobertura alguma. Além disto, não houve barreira (ruptura) para o escoamento superficial. De qualquer forma, o R/M entre ravinas foi significativo nas três



parcelas e nos 12 perfis monitorados. Haja vista, a remoção mínima registrada ter sido em torno de 30,64 t/ha/ano.

Tabela 4 – Mobilização de material e rebaixamento da superfície de acordo com a técnica de mensuração empregada.

Tipo de técnica	Parâmetros avaliados			
	Remoção média (kg/m ²)	Remoção mínima (kg/m ²)	Remoção máxima (kg/m ²)	Rebaixamento médio da superfície (cm)
Parcela (Dinâmica)	5,11	-	-	≈-0,412
Pino fixo (Volumétrica)	4,34	-	28,15	-0,35
Pino móvel (Volumétrica)	25,42	6,94	40,54	-2,05
Perfis - medida indireta (Volumétrica)	17,92	8,56	29,26	-1,45

Por fim, a partir do monitoramento desta pesquisa e de outras concluídas e em andamento, bem como por meio de revisão de literatura elaborou-se uma síntese (quadro 1) em que se observa as características e em parte alguns limites das técnicas empregadas para mensurar a erosão do solo em campo

Quadro 1– Características das técnicas de mensuração de erosão do solo

Técnica	Pino de erosão	Pino móvel	Parcelas coletoras de escoamento e sedimento (fechadas)
Tipo de mensuração	Volumétrica.	Volumétrica.	Dinâmica.
Distúrbios causados na instalação/monitoramento.	Rompimento da estrutura superficial do solo, alteração hidrodinâmica do escoamento superficial.	Quando a estrutura de sustentação fica afastada da área de mensuração, não ocorre distúrbio significativo.	Conexão da calha coletora com o sistema vertente. Há ruptura hidrodinâmica devido ao fechamento da parcela, contudo, esse efeito é variável de acordo com as dimensões da parcela.
Exemplos sobre a técnica	De PLOEY e GABRIELS (1980) (Este trabalho)	HUDSON (1993) (Este trabalho)	HUDSON (1993) De PLOEY e GABRIELS (1980) (Este trabalho)

Nota: Foram analisadas apenas as técnicas difundidas na literatura e empregadas nos estudos de erosão do solo.



Conclusão

Na área de estudo verificou-se mudança significativa no topo do solo como densidade global, porosidade total e consistência. Além disto, o baixo teor de carbono (matéria orgânica) e presença maior de silte predispôs o topo do solo ao encrostamento. Por outro lado, isto acarretou a redução da infiltração e aumentou o escoamento superficial. Este ambiente, é ideal para transporte de material entre ravinas para dentro do sistema de ravinas, devido a maior participação e competência do escoamento superficial na remoção de partículas (dissecação areolar).

As técnicas de mensuração (volumétrica e dinâmica) apesar da variabilidade registraram a ocorrência de grande mobilização de material entre ravinas. Entretanto, a cobertura do solo e em especial a ruptura hidrodinâmica causada pelo fechamento da parcela esteve entre os elementos que influenciaram na referida variabilidade. Pois, ambas as medidas volumétricas, pino móvel e perfis (medida indireta), apresentaram os maiores valores para R/M.

A associação de parcela fechada com pino fixo mostrou-se satisfatória, pois permite verificar a dinâmica interna da parcela por meio da identificação de área de acúmulo, rebaixamento e caminhos preferenciais de escoamento. Uma outra possibilidade de associar técnica dinâmica com técnica volumétrica é que a partir da rede de pinos pode se gerar modelo digital de terreno da parcela em estudo. Entretanto, este desdobramento não foi apresentado neste trabalho.

A ação dos processos hidromorfológicos superficiais leva a degradação do solo por meio da modificação das características físico-químicas (umidade, densidade global, porosidade, capacidade de suporte, pH, macro-nutrientes etc.) e biológica (cobertura vegetal e adicionamento de matéria orgânica). Em suma, o meio edáfico passa a ter condições reduzidas para o desenvolvimento de cobertura vegetal, e, por conseguinte, amplia-se à exposição do solo à energia das chuvas e a remoção de material pelo sistema de ravinas (efeito de circular).

Referências bibliográficas

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990.

BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, n. 32, p. 385-415, 2000.

De PLOEY, J.; GABRIELS, D. Measurement of soil erosion. *in*: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R.P.C. *Soil erosion*. Great Britain: John Wiley & Sons, 1980.



EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. *Manual de métodos de análise de solos*. – 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.

GUERRA, A. T. G. Processos erosivos nas encostas. *in*: GUERRA, A. T. G.; CUNHA, S. B. (org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

HART, M. G. *Geomorphology: pure and applied*. London: Allen & Unwin, 1986.

HUDSON, N. *Field measurement of soil erosion and runoff*. FAO, Rome: Silsoe Associates, 1993.

KIRKBY, M. J.; MORGAN, R.P.C. *Soil erosion*. Great Britain: John Wiley & Sons, 1980.

REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Monole, 1990.

THORNES, J. B. Introduction. *In*: EMBLETON, C.; THORNES, J. B. *Process in geomorphology*. London: Edward Arnold, 1978.