

**Erosão laminar e linear e a dinâmica de movimentação de sedimento em vertente,
Município de Gouveia- MG.**

Valéria Cristina Chaves Barbosa – Mestre em Geografia e Análise Ambiental – UFMG –
valeriacbarbosa@yahoo.com.br

Cristina Helena Rocha Ribeiro Augustin – Instituto de Geociência – UFMG –
chaugustin@igc.ufmg.br

Abstract

This work presents an analysis of the dynamics of sediment transport on a slope as a result of sheet wash and concentrated erosion. The measurements were based on an indirect observation method, whereby the behavior of sediments was accessed through alteration of microforms after rainy periods. The results show differences in the hydro-erosive responses to the diffuse and concentrated runoff at sites with variation in the characteristics of vegetation cover, surface cover, soils and roughness. It was possible to identify increase of sedimentation ($1,85\text{m}^3$) in areas where the vegetation cover presented an increase of approximately 30%, during 2 years of monitoring. This indicates that the level of sediments on the top of the soils increased up to 0,9cm during the studied period, which contributed to the reduction of the depth of ephemeral gully channels. Cartographic representation of the erosion measurements demonstrated that small concavities and channels were filled up with sediments that were again transported after the rainy period. During 2 years of monitoring there was no observable event of micro-channel incision by runoff; only transport and sedimentation of loose material on the slope surface. Conclusion of this study demonstrated that runoff, in the study area and during a specific period of time, was mainly responsible for transport and deposition of material on the slope.

Key words: micro-forms, sheet erosion, concentrated runoff, deposition, vegetation cover

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise da dinâmica de movimentação de sedimentos na vertente estudada a partir da ação dos processos de erosão laminar e linear e das deposições resultantes. Utilizou-se método indireto de medida, baseado na variação da micro-topografia as vertentes amostradas durante períodos chuvosos sucessivos. Os resultados encontrados indicaram diferentes respostas hidro-erosivas do fluxo difuso e concentrado, em terrenos com características variadas de cobertura vegetal, cobertura de superfície, solos e rugosidade. Constatou-se que em função do aumento, em aproximadamente 30%, da cobertura vegetal, houve uma intensa sedimentação na vertente ($1,85\text{ m}^3$) em dois anos de monitoramento. Com isso, o nível de sedimentos na superfície do solo aumentou em média 0,9cm e a amplitude das micro-ravinas

diminuíram. As representações cartográficas do processo erosivo, indicaram que pequenas cavidades e canais no terreno eram entulhados por sedimentos que, posteriormente, a cada período chuvoso, eram novamente transportados. Não se observou indício de incisão provocada por fluxo superficial, mas apenas de transporte de sedimentos soltos na superfície. Dessa forma, conclui-se que a principal dinâmica dos processos de erosão laminar e em ravinas na área de estudo é a distribuição de sedimentos dentro da vertente.

Palavras Chave: micro-topografia, erosão laminar, erosão concentrada, deposição, vegetação

1. Introdução

O processo de erosão laminar movimenta na vertente grandes volumes de sedimento, em proporções muitas vezes maiores do que a taxa de material removido das vertentes (Moore e Bruch, 1986). Grande parte do material mobilizado pelo de fluxo de superfície é redistribuído e depositado na vertente e, apenas, uma pequena quantidade desse material alcança a rede fluvial (Horton, 1945; Thomas, 1994).

O modelo preconizado pelos autores acima mencionados, indica que um dos principais papéis do fluxo difuso e pouco concentrado é a distribuição de sedimentos na vertente. Apesar disto, a maioria dos trabalhos sobre processo de erosão laminar desconsidera essa dinâmica, pois não avaliam o trânsito e a deposição de sedimento (Morgan, 1995; Augustin, 1995). No Brasil, geralmente estes trabalhos são realizados através do método de parcelas de perda de solo, no qual todo o material coletado é considerado perdido, pois não mensura a resultante deposição. Além disso, medidas de taxa de erosão baseada em carga de sedimentos reproduzem erros, pois parte do pressuposto de que a área erodida é uniforme quanto aos processos nela atuantes e às características da superfície (Campbell, 1981).

Em vista do que foi exposto, este trabalho, que trata do início do processo erosivo, tem como proposta investigar a dinâmica de sedimento na vertente resultante do fluxo superficial difuso e pouco concentrado em terreno com diferentes características de solo, de cobertura vegetal e de rugosidade, através de medidas (volume) das resultantes do processo erosivo (erosão e deposição) e de sua correlação com fatores que operam na superfície do solo.

2. Procedimentos Metodológicos

O método de pesquisa empregado tem como orientação, o princípio de que a variação da micro-topografia durante o período chuvoso pode ser utilizada para inferir a taxa de sedimento erodido ou depositado pelo escoamento superficial de vertente. Este método permite quantificar as feições impressas no terreno pelo escoamento superficial gerado durante sucessivos eventos chuvosos, como por exemplo os sulcos erosivos e as pequenas cavidades no terreno, quando há retirada de material, ou elevações diminutas correspondentes a depósitos de sedimentos. Estas feições são entendidas no presente estudo como micro-topografias do terreno, passíveis de serem quantificadas em termos de área, altura e volume (Augustin, 1979; 1995) e representadas através de programa de geoprocessamento, conforme proposto por Barbosa; 2004.

Foram instaladas três estações experimentais de 10m² na porção central de três sítios geomorfológicos identificados (fig. 1), segundo proposta de Augustin (1979). Essas estações, localizadas no topo/alta vertente, média e baixa vertente, foram limitadas externamente por estacas fincadas à profundidade iguais, de maneira a que fosse garantida a base comum da parte externa da estaca para amarrar-se fios de aço. Estas estacas foram fincadas em distâncias regulares de 2,5 m uma da outra, formando uma trama de 2,5 x 2,5 m nos 10m² de cada parcela. Na estrutura montada foram amarrados fios de aço interligando as estacas de madeira, no sentido horizontal, vertical e diagonal, de forma a garantir uma amostragem homogênea do terreno. Tanto os fios externos do quadrado 2,5 X 2,5 m, quanto os internos (transecto diagonal), foram marcados com tinta a cada 30cm, em todas as suas extensões. As micro-formas foram medidas com o auxílio de uma trena de 2m, através da qual tomou-se a altura do terreno até o fio de aço (fig.1), nos pontos previamente marcados, ou seja, a cada 30cm, ao longo de toda a trama de fios de aço, durante 2 anos. As micro-formas foram medidas em área na qual manteve-se a cobertura original.

Uma das das estações experimentais de campo e o equipamento empregado para a obtenção de dados da micro-topografia é representada abaixo:

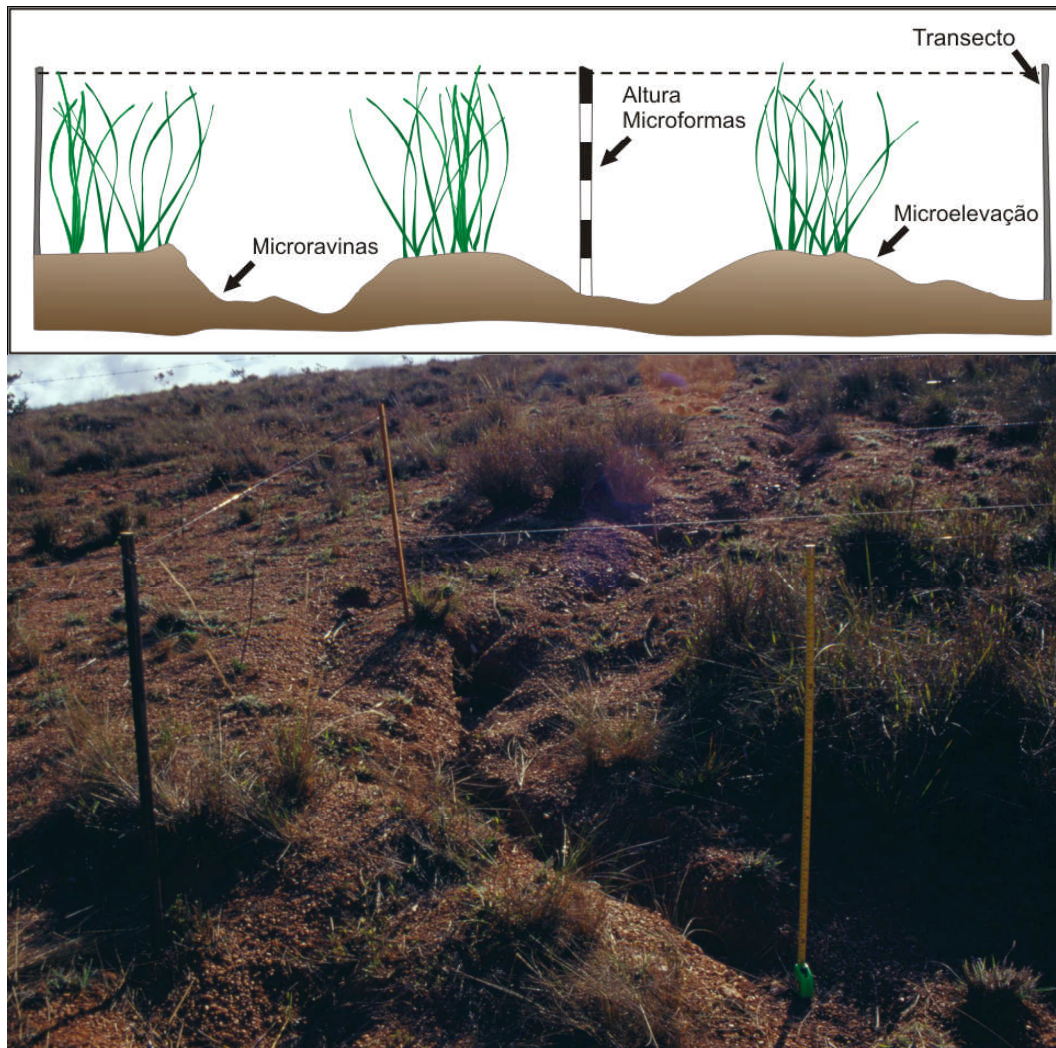


Figura 1: Modelo de amostragem da micro-topografia

Além da micro-topografia, foram medidas àquelas variáveis identificadas como mais significativas para análise do processo erosivo na escala tempo-espacial selecionada para estudo (Augustin, 1995; Barbosa, 2004): vegetação, cobertura de superfície (crosta, pedregulho e sedimentos soltos). Os dados sobre tipo de crosta e de sedimento na parcela foram obtidos através de análise granulométrica.

Em campo, foi realizada uma amostragem inicial para servir como base de referência às medições posteriores. Nestes mesmos pontos são acompanhadas as mudanças na variação da micro-topografia ao longo do período chuvoso. Estes dados obtidos em campo são transformados em mapas de área de feições erosivas/deposicionais e em modelo digital de terreno, através do qual é possível quantificar o volume de material movimentado utilizando uma ferramenta do programa *Microstation*.

É importante ressaltar que o tipo de material instalado nas estações experimentais altera muito pouco as condições naturais do terreno, além de permitir o trânsito livre de sedimentos e de escoamento na vertente.

3. Caracterização da área de estudo

A área investigada é um vertente da bacia do córrego do Quebra, subfluente de segunda ordem da bacia do ribeirão do Chiqueiro, uma das principais bacias do rio Paraúna, no município de Gouveia, Espinhaço Meridional, Minas Gerais.

O clima da área é o tropical sub-úmido, com a ocorrência de duas estações bem definidas: uma quente e chuvosa, de outubro a março, e outra fria e seca, de março a setembro. A pluviosidade anual média é de 1400 mm e a temperatura é de 22⁰C.

O cerrado degradado constitui a cobertura vegetal mais importante da área. Por causa da predominância das gramíneas, é utilizado para a pecuária extensiva, com algum melhoramento (plantio de braquiária). Além do estrato gramíneo-herbáceo, há a presença rarefeita de arbustos e árvores de pequeno porte (6 a 8m).

A vertente analisada (fig. 2) tem um perfil longitudinal de aproximadamente 200 metros de extensão, declividade de 10° em média e desnível topográfico de 10 metros do topo a base da vertente. Sua geometria é irregular, marcada por mudança acentuada de declive e por seguimento côncavo na transição da média para baixa vertente.

A vertente foi elaborada sobre rochas miloníticas do granito, tendo essa área sido submetida, no Pré-Cambriano, a intenso processo de cisalhamento.

A cobertura pedológica é composta por neossolo câmbico com diferentes graus de desenvolvimento do horizonte Bi, indicado pela variação de espessura e mudança de estrutura do horizonte diagnóstico. Esta variação dos atributos pedológicos está relacionada à influência dos veios de quartzo que cortam transversalmente a topossequência (fig. 2). O intemperismo físico desse veio de quartzo originou o pavimento detrítico presente em toda a topossequência.

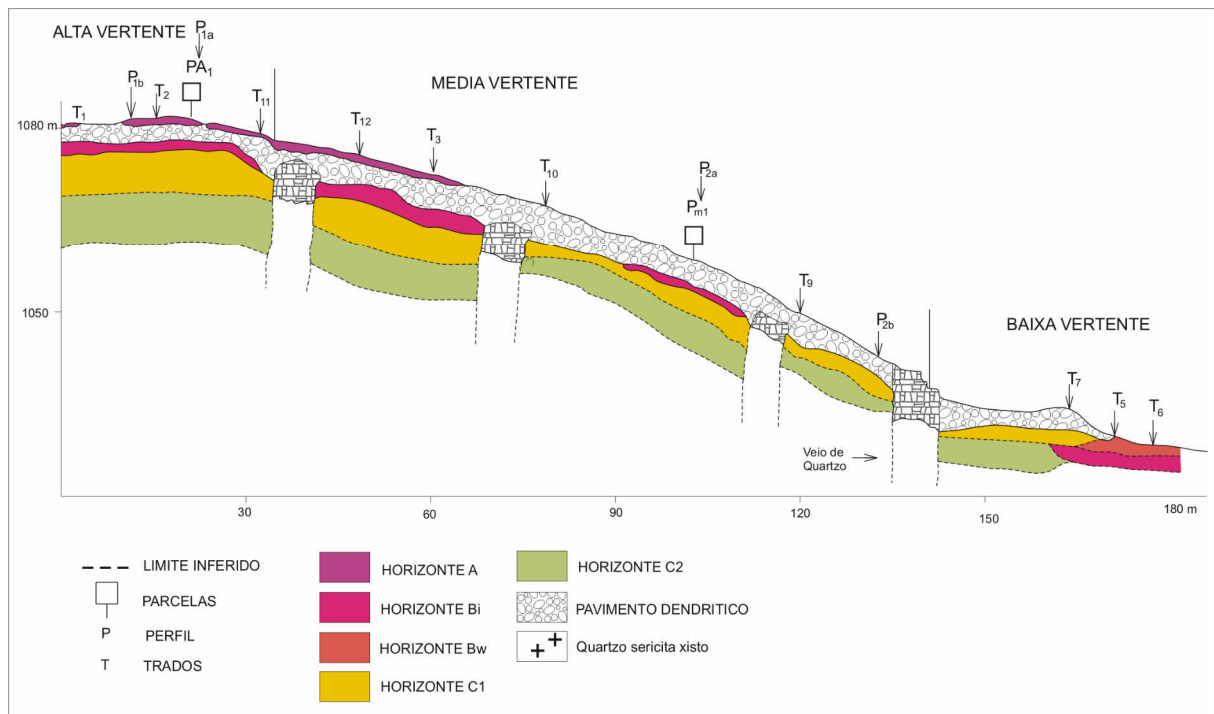


Figura 2: Perfil topográfico e representação da cobertura pedológica da vertente em análise do córrego do Quebra.

A posição do pavimento detrítico ora exumado ora na subsuperfície indica a ação diferenciada da erosão. Na média e baixa encosta o processo erosivo parece ter sido mais intenso, responsável pelo desmonte da camada superficial do solo, o que é indicado pela exposição do pavimento detrítico e pela distribuição de material coluvial grosso pela superfície atual.

Deduz-se que este processo teve início a partir da ruptura de declive localizado entre a média e baixa vertentes, que progrediu em direção ao topo, isto porque o gradiente topográfico maior intensifica o processo erosivo, que, nessa posição da vertente é potencialmente mais vigoroso (Horton, 1945).

A atuação mais intensa dos processos morfogenéticos na média e baixa encosta pode ser evidenciada também pelo menor desenvolvimento das coberturas pedológica nestas porções da vertente (fig.2). Se no passado o processo erosivo foi mais intenso na média e baixa encosta, na morfogênese atual o processo erosivo é bastante significativo também na região de topo, conforme demonstra os dados desta pesquisa (fig. 3) e de trabalhos anteriores realizados nesta vertente (Machioro, 2002 e Portilho, 2003).

O volume elevado de sedimentos erodidos em local onde a capacidade erosiva do fluxo superficial é supostamente menor, no topo/alta vertente e em condições de declividade suave (3°), pode ser explicado pela presença de crosta argilo/siltosa no topo do horizonte superficial. Esta camada compacta dificulta a percolação da água e faz gerar um grande volume de escoamento superficial (Augustin, 1995; Machioro, 2002). Considerando que esta superfície está sendo lavada nos eventos chuvosos em que o escoamento é gerado, era de se esperar uma pequena quantidade de sedimento solto na superfície. Contudo, o percentual predominante de grânulos (47%) no topo do solo e o volume de sedimentos depositados em dois anos de amostragem demonstram a existência de fatores que favorecem a deposição e a produção de sedimentos, corroborando resultados de Augustin (1995) para a mesma região.

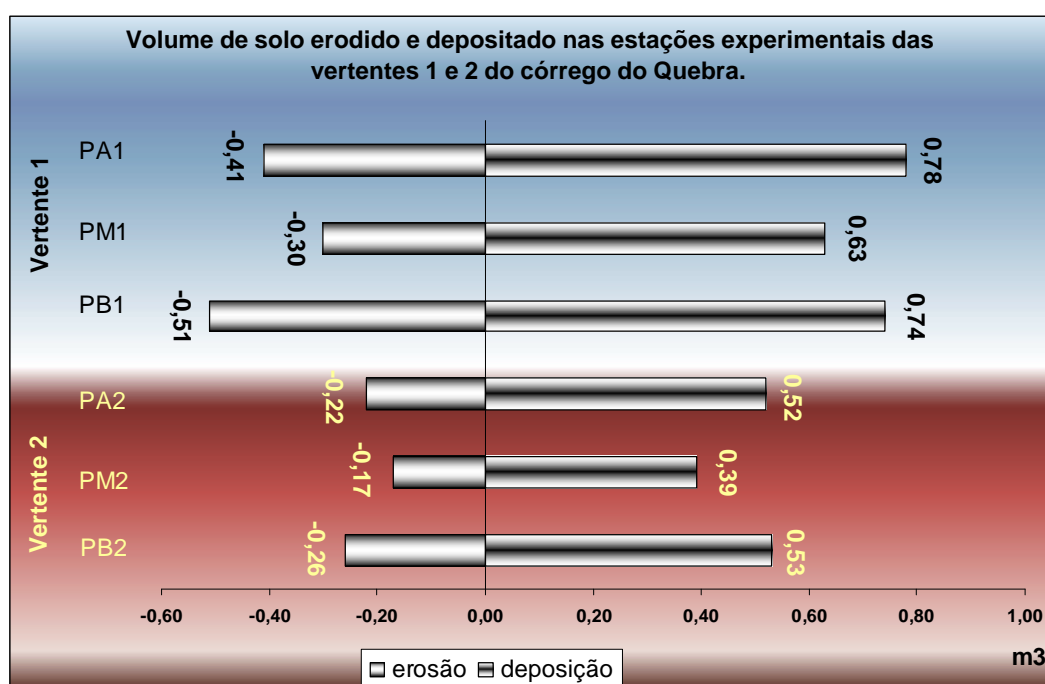


Figura 3: Valores de solo erodido e depositado nas estações experimentais da alta, média e baixa vertente, em dois anos de monitoramento.

Com base neste resultado pode-se assumir que o respingo, provocado pela gota de chuva, está disponibilizando sedimentos em proporções superiores à capacidade de transporte do fluxo. Este fato pode facilmente ser entendido quando se leva em consideração que a crosta no topo do solo é constituída por silte e por grânulos de argila pouco coerentes (Oliveira et al., 2003), ambos bastante susceptíveis ao destacamento. Além disto, a quantidade

de sedimento solto na superfície do terreno pode estar sobrecarregando o fluxo superficial, que nas condições topográficas presentes apresenta menor capacidade de transporte, como detectado por Augustin (1995).

A cobertura vegetal neste seguimento da vertente é outro fator que interfere efetivamente no processo erosivo (Barbosa, 2000). Se por um lado a gramínea introduzida neste local cresce em tufos, que convergem água da chuva até a raiz formando uma zona saturada com tendência a gerar o fluxo superficial e o conseqüente aumento do transporte de sedimentos, por outro, a área foliar deste vegetal, que recobre cerca de 22% da superfície, intercepta a gota da chuva e evita o destacamento. A ação da cobertura vegetal se faz sentir também pelo fato de que a zona da raiz ser relativamente larga, o que favorece a acumulação de grânulos soltos.

O sítio da média vertente (PM1) apresenta declividade mais acentuada (12°), em seguimento côncavo de encosta, com tendência a concentração do fluxo superficial. Apesar destes aspectos topográficos denotarem maior susceptibilidade à erosão, os dados de erosão nesta porção da vertente foram mais baixos (0,30 m³), indicando a existência de fatores que aumentam a estabilidade do terreno face à ação erosiva do fluxo. Entre os fatores analisados destaca-se a cobertura de superfície no local, com característica de maior estabilidade em relação às outras áreas da vertente. Grande parte da superfície do terreno é constituída por crosta argilo-arenosa com presença de cascalho fortemente aderido. Além desses, são poucos os grânulos soltos na superfície. Nesta situação, a cobertura de cascalhos além de minimizar o efeito *splash*, desacelera o fluxo de superfície e tende a aumentar a infiltração da água no solo. De forma semelhante, as espécies de gramíneas existente nesta porção da vertente crescem próximas ao solo dificultando a convergência da água da chuva, evitando, assim a formação de zonas saturada no solo.

Além disso, a cobertura vegetal, composta por vários estratos de vegetação nativa e com densidade de área foliar relativamente grande (40,7%), confere maior proteção ao solo. A concentração de vegetação no topo/alta vertente da parcela é outro aspecto que controla a ação erosiva do fluxo de superfície, uma vez que esta intercepta o fluxo de montante, dispersando-o.

No sítio da baixa vertente (PB1) o processo erosivo alcança maior magnitude. Além das elevadas taxas de erosão e deposição registradas neste local, são identificadas feições de erosão linear do tipo ravina em uma superfície constituída predominantemente por cascalho (80%). O fluxo de superfície na base da encosta mostra-se bastante vigoroso, capaz de transportar sedimentos densos (seixos) e de causar incisão na superfície. Ao se concentrar em pequenas cavidades do terreno, o fluxo superficial aumenta seu potencial e responde por maiores taxas de erosão (Horton, 1945). Os resultados encontrados neste estudo confirmam esta constatação, pois enquanto o fluxo linear transportou 80% do volume total de sedimentos depositado nos canais, o fluxo difuso transportou menos de 50% dos sedimentos depositados na área da parcela.

A alta taxa de erosão registrada está relacionada também a ocorrência de um pavimento detrítico na superfície do terreno, cujos seixos estão fracamente aderidos à crosta areno-siltosa, que por sua vez, é mais susceptível ao cisalhamento do que as crostas da PA1 e PM1.

Observou-se também que, apenas em canais de ravina mais profunda (~50cm) a erosão foi superior a taxa de deposição. Segundo Kirkby (2001) e Römken et al. (2001) a perda mais significativa de solo está relacionada à rugosidade do canal de ravina, que aumenta a turbulência do fluxo, bem como a sua concentração, potencializando, assim, sua capacidade erosiva. Além disto, a contribuição do fluxo de subsuperfície formado entre o pavimento detrítico poroso e o saprolito pouco permeável parece contribuir efetivamente para a instabilização da superfície e o aprofundamento do canal de ravina.

A alta taxa de deposição observada ($0,74 \text{ m}^3$) ocorreu principalmente nas áreas inter-sulco da PB1 e pode ser explicada pela existência de depósitos de cascalhos, provavelmente, com diâmetros grandes o suficiente, para impedir a ação efetiva do fluxo. Quando a micro-elevação é superior ao fluxo de superfície, a resultante erosiva pode se inverter, passando a depositar mais do que erodir (Römken op cit.). As micro-elevações passam a subdividir e a dispersar o fluxo de superfície, aumentando, com isso, a deposição de sedimentos.

Com base nas representações cartográficas das resultantes do processo erosivo (Barbosa, 2004) constatou-se que na vertente em estudo o processo de erosão

lamina ocorreu da seguinte forma: o fluxo superficial difuso transportou sedimento solto na superfície do solo e o depositou em pequenas cavidades e superfície do terreno outrora expostas pela ação erosiva do fluxo superficial da água de chuva. A figura 4 demonstra essa dinâmica na parcela da média vertente.

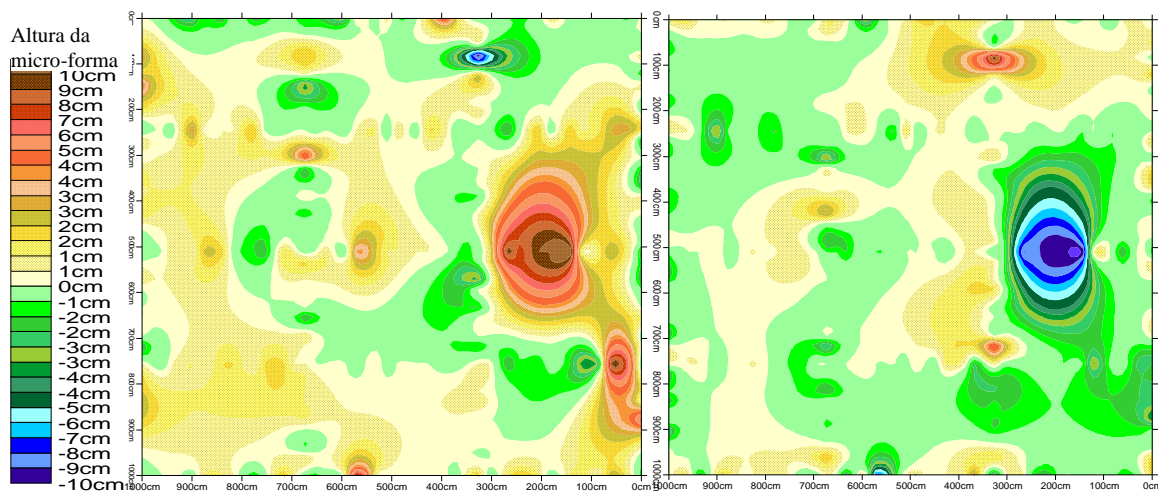


Figura 4: Representação cartográfica das áreas de erosão/deposição. As áreas de erosão estão delimitadas nas cores verde e azul e os depósitos de sedimentos estão representados nas cores amarela e vermelha. No mapa à esquerda, os depósitos de sedimentos recobrem grande parte da superfície e no mapa a direita formam-se zonas de erosão sobre as antigas cavidades/superfície entulhadas.

A maioria das feições de erosão linear, apesar de serem permanentes no solo, não evoluiu no período monitorado. O fluxo concentrado, assim como o fluxo difuso, apenas transportou os sedimentos depositados no canal de ravina, ou seja, a resultante erosão quantificada correspondeu, principalmente, à carga de sedimento transportado. Desta forma, pode-se afirmar que o principal trabalho do fluxo superficial, difuso e concentrado, na vertente em estudo foi o de redistribuição dos sedimentos dentro da vertente.

5. Conclusões

As maiores taxas de erosão registradas nas áreas monitoradas não ocorreram sob a declividade mais acentuada ou em áreas cujo volume de escoamento é maior, mas nas áreas de erosão linear e de pastagem plantada.

Os canais de ravina permanente que funcionam como caminho preferencial de escoamento de água pluvial demonstram taxas de erosão significativas em relação as das áreas inter-sulco, corroborando os resultados obtidos em outros trabalhos (Farias, 1992; Moeyersons, 1991). Nas ravinas mais profundas (~50 cm), a água concentrada continuou desenvolvendo um trabalho localizado e mais agressivo. Enquanto os sulcos menos profundos (inferior a 15 cm) apresentaram-se relativamente estáveis no período amostrado, aproximadamente 20% dos sedimentos depositados nessas ravinas ficaram retidos nos canais como depósito. Como consequência, constatou-se que os sulcos pouco profundos diminuíram de profundidade em dois anos de monitoramento.

Nas áreas de erosão laminar o processo de sedimentação foi mais intenso e, neste caso, o aumento da vegetação contribuiu efetivamente para a deposição de sedimento. Apenas nas áreas de pastagem plantada (tufos de grama), quando o solo encontra-se saturado, no final do período chuvoso, a variável erosão se sobressaiu.

O modelado desenvolvido pela erosão laminar e pela erosão em ravina é notoriamente diferenciado. No entanto, com o aumento da deposição na área da parcela, as ravinas passaram a receber grande volume de sedimentos, levando a com isso, a uma dispersão do fluxo concentrado para zonas entre sulcos. Esse processo, embora ainda muito incipiente, indica a tendência do fluxo concentrado promover um modelamento mais uniforme da superfície, semelhante ao produzido pelo fluxo difuso.

Finalmente, este estudo mostrou que a vegetação e a rugosidade, estabelecida pela cobertura de cascalho, aumentam a deposição de sedimento e ajudam a equilibrar a resultante erosiva.

6. Referência Bibliográfica

- AUGUSTIN, CRISTINA HELENA R. R. (1995). Geoökologische Studien im südlichen Espinhaçogebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter besonder Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung. 147 p. Tese de doutorado, Johann Wolfgang Goethe Universität , Frankfurt a Main, Alemanha.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. (1979). A preliminary interacted survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain - M.Sc. Dissertation: University of Sheffield, Sheffield. 311p.

- BARBOSA, V. C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. (2001). Estudo preliminar de micro-formas e da cobertura vegetal na geração do runoff e perda de solo em vertente do município de Gouveia, MG. Belo Horizonte, Geonomos. Vol.VIII, no 2. 1-7p.
- BARBOSA, V. C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. (2004). Análise dos processos de erosão laminar e em ravina sob diferentes condições de cobertura de solo e micro-topografia, na bacia do córrego do Quebra- Gouveia, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociência da UFMG. Belo Horizonte, MG. 120 p.
- CAMPBELL, IAN. A. (1981). Spatial and temporal variations in erosion measurements. Erosion and sediment transport measurement. Proceedings of the Florence Symposium, June. IAHS; publ.no. 133. 447-456p.
- FARIAS, A. P. (1992). A erosão em micro-bacias e as suas conseqüências sobre os canais efêmeros, intermitentes e perenes. IGC/UFRJ, dissertação de mestrado, Rio de Janeiro, RJ. 100p.
- HORTON, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainagens basins: hydrophisicai approach to quantitative morph. Geol. Soc. Am. Bufl., 56. 275-370.
- MACHIORO, E. (2002). Perda de solo por erosão laminar em vertente do município de Gouveia, MG. IGC/UFMG, dissertação de mestrado, Belo Horizonte, MG.
- MOEYERSONS, T. (1991). Ravine formation on steep slopes: forward versus regressive erosion- Some case studies from Rwuanda. Catena, 10:308-321p.
- MORGAN, R. P. C. (1980). Topic in applied Geography soil erosion. Longman Group limted, New York, USA.110p.
- OLIVEIRA, C. V.; DINIZ, A. D.; AUGUSTIN, C. H. R. R. (2003). Classes de solo e erosão na região de Gouveia-MG. Espinhaço Meridional. XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: solo alicerce dos sistemas de produção. Ribeirão Preto, SP, de 13 a 18 de julho de 2003. 4p.
- PORTILHO, S. (2003). Perda de solo por escoamento superficial e os padrões de infiltração e percolação da água no solo, micro-bacia do córrego do Quebra, Gouveia, Espinhaço Meridional, MG. IGC/UFMG, dissertação de mestrado, Belo Horizonte, MG. 127p
- KIRKBY, M. (2001). Modelling the interactions between soil surface propertie and water erosion. Catena, Elsevier Science. 46:89-102p.
- RÖMKENS, M. J. M., HELMING, K., PRASAD, S. N. (2001). Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. Catena, Elsevier Science. 46: 103-123.
- THOMAS, M. F. (1994). Tropical Geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates. London, The Macmillan Press Ltd. 1-13/83-99p.