

Estudos sobre Processos Erosivos



Vertedouro para monitoramento hidrológico, bacia Água da Cachoeira, Paraguaçu Paulista, SP.

Situação da Erosão por Voçorocas na Região Sudoeste do Estado de São Paulo

Kazutoki ABE¹

Hikaru KITAHARA¹

Tetsuya KUDOH¹

Arthur Francisco MARQUES²

Maria Eugenia MARTINS³

Alberto FRANCISCO²

Eliane Akiko HONDA⁴

RESUMO

Três bacias hidrográficas e quatro voçorocas, situadas no oeste do Estado de São Paulo, foram morfológicamente caracterizadas, assim como a composição granulométrica em dois sulcos erosivos, em várias profundidades, tendo como objetivo obter subsídios para auxiliar nos trabalhos de contenção da erosão. A densidade de sulcos erosivos e a configuração morfológica das voçorocas variaram em função do substrato geológico em que as bacias hidrográficas estão localizadas. Algumas medidas utilizadas para prevenção e mitigação da erosão, comuns na região, são apresentadas.

Palavras-chave: conservação do solo, recuperação de áreas degradadas, voçoroca.

ABSTRACT

The morphology and particle size composition of three watersheds and four gully erosion affected areas were analyzed in western São Paulo State, Brazil. The gully density in each watershed varied as a function of geology. Some erosion contention methods used in the region are discussed.

Key-words: degraded area reclamation, gully erosion, soil conservation.

¹ Forest and Forest Products Research Institute. 305, Ibaraki, Japão.

² Estação Experimental João José Galhardo, Caixa Postal 233, CEP 19870-000, Paraguaçu Paulista, SP, Brasil.

³ Rua Otávio Mangabeira, 81, CEP 13401-555, Piracicaba, SP, Brasil.

⁴ Floresta Estadual de Assis, Caixa Postal 104, CEP 19800-000, Assis, SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo está situado na região sudeste do Brasil, sob a linha do Trópico de Capricórnio e seu litoral é voltado para o Oceano Atlântico (Figura 1). Com uma área aproximada de 260 mil km², equivale a quase 70% do território do Japão. A topografia é caracterizada por uma estreita planície costeira que se inicia junto ao Oceano Atlântico, seguida pela Serra do Mar, com altitude variando de 700m a 1.200m. Na direção oeste, rumo ao interior do Estado, a altitude diminui gradativamente, passando para a região das colinas, até encontrar o Estado de Mato Grosso do Sul, cuja divisa é o Rio Paraná.

O desenvolvimento industrial é proeminente a leste do Estado, nas grandes metrópoles localizadas próximas ao Oceano Atlântico, como São Paulo e Santos. Entretanto, em outras regiões do Estado, a agricultura e pecuária são predominantes. A Mata Atlântica, distribuída ao longo da Serra do Mar, e a cobertura vegetal nativa, composta por florestas e cerrados a oeste, foram desaparecendo rapidamente, acompanhando o desenvolvimento dessas atividades produtivas. As florestas que ocupavam 80% da área do Estado em 1850 passaram a constituir 45% em 1920, e a partir de 1950, o desmatamento acelerado reduziu a área florestal para 8% em 1973, e para 6% em 1990. Esse intenso desmatamento em curto prazo, aliado ao aumento das áreas agrícolas, assim como o uso intensivo do solo decorrente da agricultura de grande escala, realizada freqüentemente com manejo inadequado, ocasionou erosão laminar em extensas áreas e erosão em sulcos, cuja forma mais grave é conhecida por “voçoroca”. Bertoni e Lombardi (1990) estimaram perda anual, pela erosão, de 130 milhões de toneladas de solo no Estado de São Paulo.

A JICA (Agência de Cooperação Internacional do Japão) desenvolveu projeto em cooperação técnica com o Instituto Florestal do Estado de São Paulo, objetivando identificar a situação atual da erosão do solo e estudar as medidas preventivas. Como área-alvo, foi selecionado o município de Paraguaçu Paulista e imediações, localizado na região agrícola do sudoeste do Estado, na qual a erosão do solo tornava-se muito grave. O projeto de cooperação, intitulado “Projeto de Pesquisa para a Conservação de Florestas e do Meio Ambiente”, foi iniciado em 1993 e, dentro deste contexto, foram efetuados levantamentos e pesquisas relacionados ao fenômeno da voçoroca. Assim, a geologia da camada superficial do solo, as características pluviométricas, a densidade e configuração das voçorocas da região de Paraguaçu Paulista e imediações foram estudadas, para subsidiar medidas preventivas.

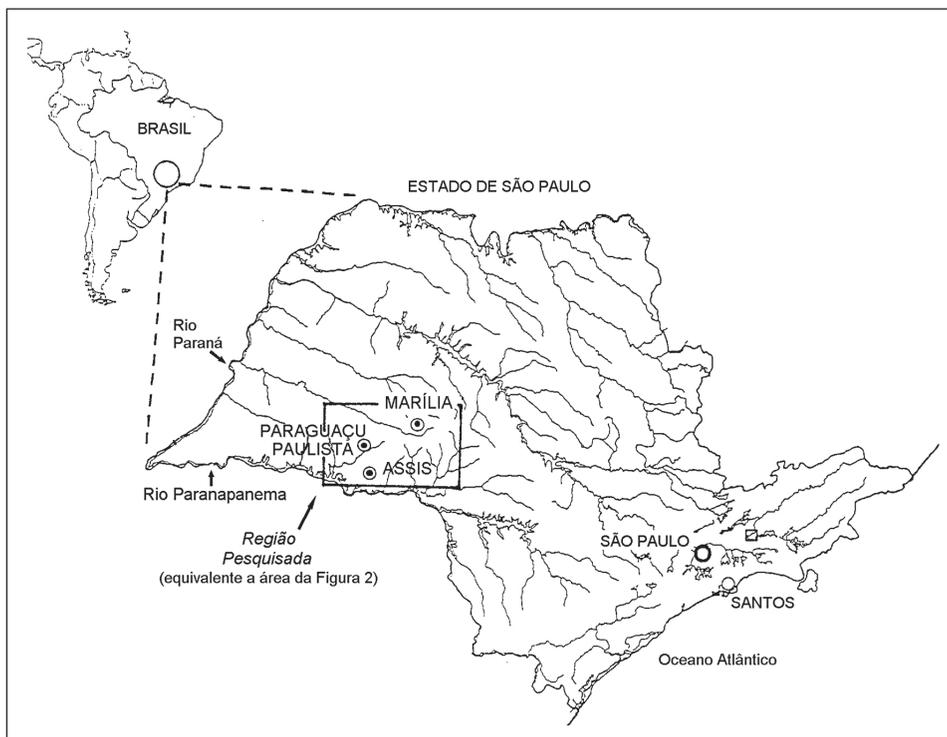


Figura 1. Localização do Estado de São Paulo e principais cidades.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 2 mostra a região de estudo, com indicação das principais cidades, estradas, rios, geologia da camada superficial do solo e bacias pesquisadas (IPT, 1981).

A precipitação pluviométrica da região, segundo dados medidos na cidade de Paraguaçu Paulista, apresenta um índice médio anual de 1.400 mm. A ocorrência da chuva é maior nos meses entre novembro e março, com precipitação média mensal de 140 mm a 210mm. Nos meses com menor ocorrência de precipitação (julho e agosto), o índice pluviométrico varia de 30 mm a 40 mm mensais. De acordo com os registros obtidos entre outubro de 1994 a maio de 1995, em dois pluviógrafos instalados na Bacia da Água da Cachoeira, localizada ao norte da área urbana (Figura 3), ocorreram 74 precipitações, com a duração média de 3 horas e meia em cada precipitação contínua, com volume médio de 9,6mm. Entretanto, a conversão dos registros, obtidos em intervalos de cinco minutos, em valores horários, resultou em duas precipitações com intensidade horária acima de 100 mm/h e 38 precipitações com intensidade horária acima de 50 mm/h.

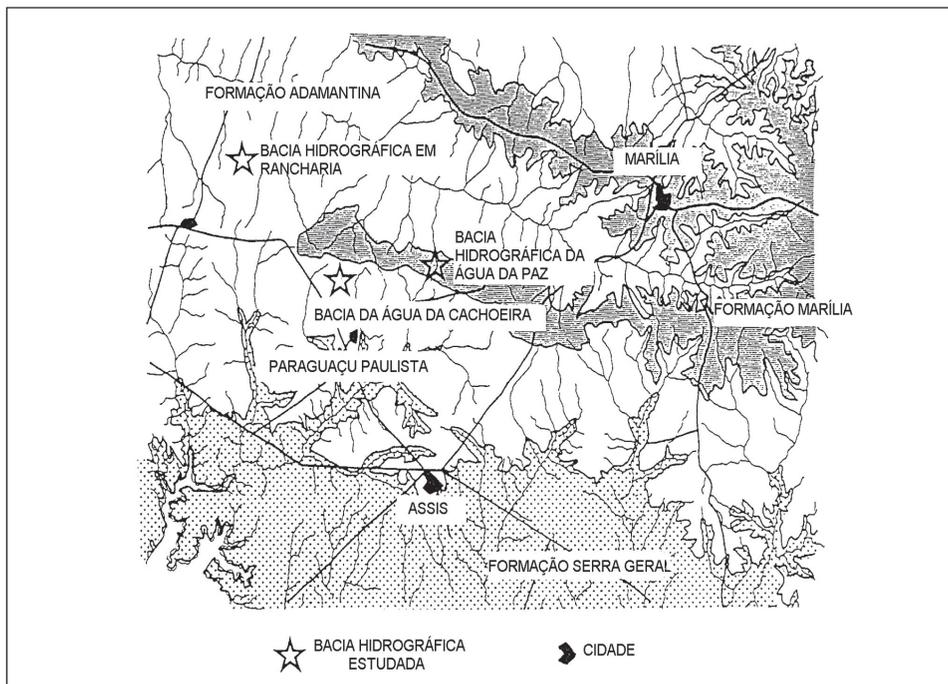


Figura 2. Localização das bacias pesquisadas, rios, principais cidades e estradas da região com a geologia da camada superficial. (adaptado de IPT, 1981)

A USLE (Universal Soil Loss Equation - Equação Universal de Perda de Solos) é um modelo empírico que estima o volume de erosão a partir de seis fatores: precipitação, solo, comprimento de rampa, declividade e manejo e cobertura vegetal, efeitos de preservação do solo (Wischmeier & Smith, 1978). Segundo o método, o coeficiente de erosividade R, calculado para as chuvas da bacia da Água da Cachoeira no período supra citado, variou entre 627 e 415 m² tonf/ha hora. Esse valor equivale aos índices da costa do Pacífico da região oeste do Japão. Estes dados de chuva indicam que a precipitação da região apresenta curta duração e intensidade relativamente alta, com força geradora de erosão moderada a alta.

A camada superficial da região é oriunda de três formações: Formação Serra Geral (com 100 milhões a 150 milhões de anos); Formação Adamantina (com 85 milhões a 55 milhões de anos) e Formação Marília. A Formação Serra Geral está presente nas regiões mais baixas ao longo do Rio Paranapanema, a Formação Marília, em regiões elevadas de altitude acima de 550m ou 600m, e a Formação Adamantina, encontra-se em situação intermediária. À exceção da Formação Marília, que apresenta freqüentemente nódulos carbonáticos, a composição granulométrica de todas as camadas superficiais caracteriza-se pela presença de

areia, silte e argila, sem a presença de pedregulhos e rochas. O uso do solo não apresenta grandes diferenças entre as regiões caracterizadas por essas formações, que são usos de grande escala com pastos, canaviais, plantações de soja etc.

Em levantamento de campo, as voçorocas se apresentam em maior densidade na Formação Marília e com baixa densidade na Formação Serra Geral, sendo aparentes as diferenças em função da geologia da camada superficial. Diante disso, foram selecionadas três bacias: uma pertencente à Formação Marília (bacia da Água da Paz), uma pertencente à Formação Adamantina (bacia de Rancharia) e uma localizada em área limítrofe entre as Formações Adamantina e Marília (bacia da Água da Cachoeira).

Foram estudadas as características físicas de três bacias típicas da região, para a sua caracterização morfológica. Foram utilizados o Mapa Geográfico do Estado de São Paulo na escala de 1:50.000 (IBGE, 1974) e fotografias aéreas de 1994.

A caracterização morfológica das voçorocas foi realizada em quatro locais: dois na bacia da Água da Cachoeira (sub bacias A e B), uma na bacia da Água da Paz e uma na bacia de Rancharia, com medição das seções longitudinais e transversais.

Amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades das paredes das voçorocas da bacia B, na Água da Cachoeira e na Água da Paz, para análise granulométrica através de separação mecânica por peneiras, objetivando obter noção geral das características do solo da região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade de voçorocas

A Figura 3 mostra a configuração das bacias pesquisadas, os seus canais de drenagem e a localização das voçorocas. A Tabela 1 resume as características físicas de cada bacia, demonstrando que a bacia de Rancharia apresenta baixa densidade de drenagem, sub-bacias primárias com áreas amplas, comprimento de rampa longo e declividade suave, uma vez que a área desta bacia é maior do que as demais bacias, com semelhante amplitude altimétrica. A densidade de drenagem da bacia da Água da Paz é 3,3 vezes maior, a área média de suas sub-bacias primárias compreende 8% e tem declividade maior em relação às bacias primárias da bacia de Rancharia. A bacia da Água da Cachoeira possui características intermediárias às duas bacias.

A distribuição de voçorocas é desigual na bacia da Água da Paz: onde há afloramento de arenito com baixa coesão, a topografia é íngreme, não permitindo a utilização agrícola. Nestas áreas, a vegetação florestal foi mantida e não há formação de voçorocas. As porções das vertentes próximas ao divisor topográfico têm

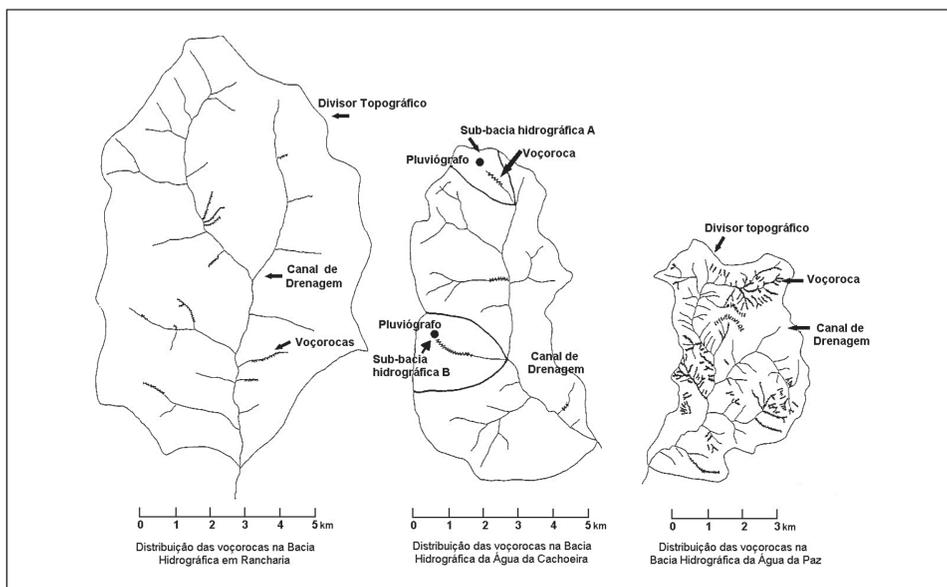


Figura 3. Aspecto das bacias, sistema hídrico e localização das voçorocas no seu interior.

Tabela 1. Características morfológicas das bacias pesquisadas.

| | Rancharia | Água da Paz | Água da Cachoeira |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Área da bacia | 69,5 km ² | 21,2 km ² | 35,7 km ² |
| Comprimento dos canais | 47,8 km | 48,5 km | 36,0 km |
| Densidade de drenagem | 0,69 km/km ² | 2,29 km/km ² | 1,01 km/km ² |
| Área média das sub bacias primárias | 204 ha | 17 ha | 100 ha |
| Densidade de voçoroca | 0,085 km/km ² | 1,395 km/km ² | 0,07 km/km ² |
| Desnível da bacia | 161 m | 170 m | 179 m |

Nota: Desnível da bacia = diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da bacia.

declividade menos acentuada e são utilizadas como pasto. Este uso, unido à presença de afloramento da camada superficial de areia sem coesão, resultou em alta densidade de voçorocas.

A densidade de voçorocas é baixa na bacia de Rancharia, e estas ocorrem geralmente na região da cabeceira dos rios. Na bacia da Água da Paz, a densidade das voçorocas é maior, sendo 16 vezes maior em relação à bacia de Rancharia. A configuração dos vales e a densidade de voçorocas na bacia da Água da Cachoeira demonstram características próximas à bacia de Rancharia.

Morfologia das voçorocas

A Figura 4 mostra a seção longitudinal de cada uma das voçorocas. A voçoroca da bacia da Água da Paz (Figura 5) apresenta declive acentuado, com profundidade de até 10m. As voçorocas das bacias de Rancharia e da Água da Cachoeira mostram declividade mais suave com menor profundidade.

Taludes verticais com vários metros de altura foram encontrados na cabeceira de todas as voçorocas estudadas, e nas voçorocas da Água da Paz e sub-bacia B, da Água da Cachoeira, foram verificados taludes verticais a partir do seu leito. Estas observações levaram à conclusão de que estes taludes seriam oriundos de processos evolutivos dos sulcos de erosão, que sofrem desmoronamento rumo a montante. Ou seja, os taludes na cabeceira são resquícios de deslizamentos ocorridos no local. Os taludes ao longo das voçorocas, como as encontradas na bacia da Água da Paz, podem ser considerados desmoronamentos que rebaixaram ainda mais os leitos já existentes.

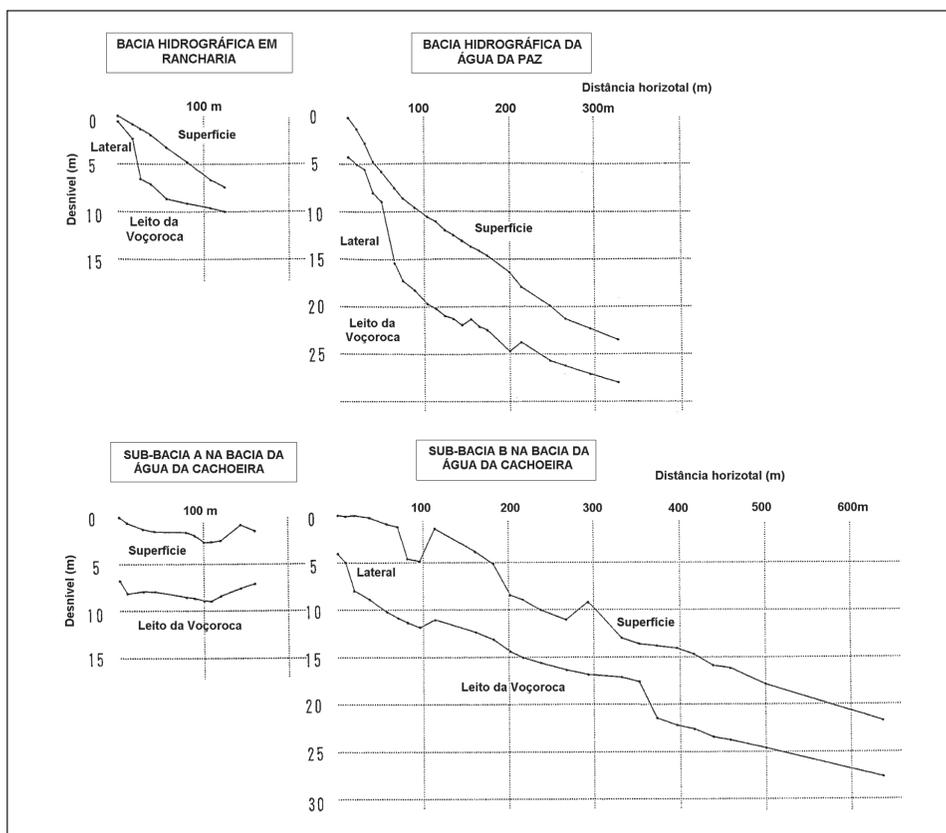


Figura 4. Morfologia da seção longitudinal das voçorocas.



Figura 5. Aspecto de uma das voçorocas da Bacia da Água da Paz.

Analisando a área de captação da sub bacia com voçoroca e a área média das seções transversais da voçoroca, não foi constatado relacionamento aparente, uma vez que as áreas de captação das voçorocas pesquisadas foram de aproximadamente 17 ha, 300 ha, 168 ha e 322 ha, respectivamente, nas bacias da Água da Paz, Rancharia, sub-bacia A e B, e as áreas médias das seções transversais das voçorocas foram de 88 m², 52m², 104 m², 153 m², na mesma seqüência. Considerando uma mesma voçoroca, não foi constatado padrão na variação da área da seção transversal, donde se conclui que essa variação depende de condições da topografia e do tipo de solo. Por exemplo, em ponto onde houve afloramento de rocha consolidada no leito, observou-se a redução localizada da seção transversal. Analisando a relação entre a profundidade e largura das voçorocas, o sulco estudado na bacia da Água da Paz apresentou valor máximo de 0,63, alto em comparação com sulcos de outras localidades; no seu leito foram identificados pontos com progressão mais profundo. Isto possivelmente é decorrência da maior declividade da vertente em relação à declividade do leito da voçoroca.

Composição granulométrica do solo

Na bacia da Água da Paz e na sub-bacia B - Água da Cachoeira, foram efetuadas análises granulométricas e seus resultados são apresentados na Figura 6. A presença de argila é pequena, com menos de 20%, principalmente nas camadas superficiais dos dois pontos estudados. Com o aumento da profundidade, a

composio de argila atinge valores da ordem de 20%. Não há presença de partículas com diâmetro superior a 2mm. Na sub-bacia B,  também pequena a parcela de silte, sendo 80% a 90% do solo composto por areia. A bacia da água da Paz apresentou maior teor de silte em relao  sub-bacia B da água da Cachoeira, representando 50% a 60% da constituio  profundidade de 7,7m, sendo uma diferença marcante na granulometria das bacias analisadas.

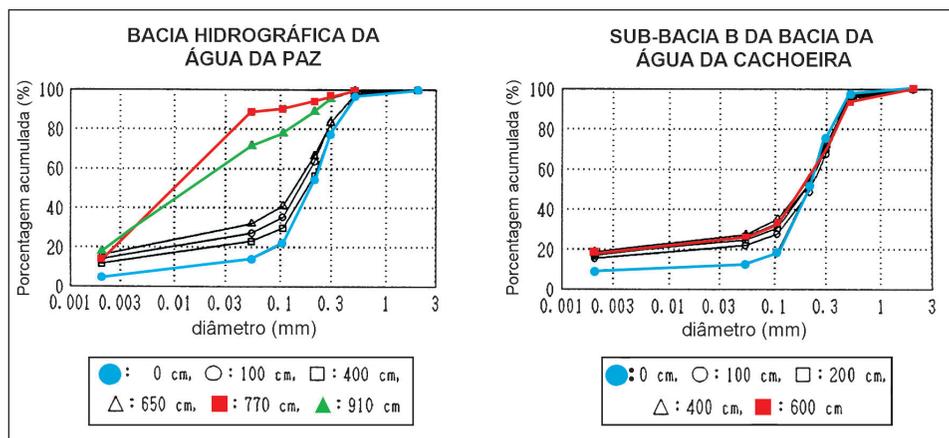


Figura 6. Composio granulométrica das amostras de solo coletadas nas diferentes profundidades das paredes nas voçorocas.

MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA VOÇOROCAS UTILIZADAS NA REGIÃO

Método de terraceamento em curva de nível

Os pastos e os canaviais são altamente suscetíveis ao escoamento superficial, razão pela qual a formao de voçorocas  grande nessas áreas. Uma das práticas muito empregadas para reduzir os picos de escoamento  a construo de terraços acompanhando a curva de nível, conforme mostra a Figura 7. Esse método consiste na construo de elevaoes de terra, com altura variando entre 1 m e 2 m, acompanhando a curva de nível e com espaçamento que mantenha desníveis de 3m a 5m entre as elevaoes. Tem por finalidade barrar e armazenar, na barreira formada pelos terraços, a água que escorre sobre a superfície do solo. Atualmente, na região de Paraguaçu Paulista e adjacências, quase todos os pastos e canaviais já adotam essa prática.

Barragem de terra

Trata-se de uma barragem de terra construída dentro da voçoroca formada, para acumular a água e sedimentos e evitar a evoluo da voçoroca. Em funo do custo de construo da barragem, não  acessível aos produtores rurais em geral,



Figura 7. Vista geral de terraceamento em canavial.

mas grandes empresas que administram os canaviais ou os grandes produtores rurais adotam esse tipo de solução.

Outras medidas

Apesar das paredes das voçorocas serem íngremes, aparentando dificuldade no estabelecimento de espécies vegetais, é freqüente o restabelecimento da vegetação e a conseqüente estabilização do sulco erosivo em áreas cercadas, que evitam a entrada do gado. Por outro lado, áreas sujeitas à invasão do gado têm a sua recuperação dificultada, mesmo sendo submetidas a tratamento de conservação do solo. Portanto, a simples proteção da área afetada pela erosão, através de cerca para evitar invasão por animais, pode apresentar resultados satisfatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertoni, J & Lombardi Neto. 1990. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 356p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1974. **Carta do Brasil - Paraguaçu Paulista**. São Paulo. 1 mapa, colorido, Folha SF-22-Z-A-I-4, Escala 1:50.000.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. Programa de Desenvolvimento de Minerais - Prolinério**. São Paulo: PROMOCET.

Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington D.C., USDA, Agriculture Research Service. 58 p. (Agricultura Handbook, 735).