

**PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM UMA PEQUENA
BACIA HIDROGRÁFICA LOCALIZADA NA E.S.A.
«LUIZ DE QUEIROZ», SP**

**J.R.C. Silva ⁽¹⁾
O. Freire ⁽¹⁾**

INTRODUÇÃO

As conseqüências da erosão não se restringem às perdas de solo. Na fase final do processo, ocorre o acúmulo de sedimentos em cursos d'água e em reservatórios.

Atualmente, consideram-se os sedimentos como o principal agente de poluição da água, em termos de volume.

Os elementos químicos contidos nos fertilizantes e defensivos, muitas vezes fortemente adsorvidos às partículas coloidais do solo, também, são transportados para os cursos d'água e represas.

Os sedimentos, geralmente provenientes do uso incorreto do solo, prejudicam a vida aquática e também, a vida silvestre; além de poderem danificar estradas e obstruir canais, aumentando os riscos de inundação.

Deve-se considerar, ainda, o custo elevado da purificação da água para servir para o consumo urbano, agrícola e industrial.

A estimativa da poluição por sedimentos conta, ainda, com poucos dados. Por esta razão, as previsões do transporte e

(¹) Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», USP, Piracicaba.

deposição de sedimentos, em casos específicos, são, até o presente, pouco precisas. Existem, no entanto, evidências de que a sedimentação em bacias hidrográficas esteja relacionada com as perdas que ocorrem nos solos do local.

Para estudos dessa natureza, vem sendo utilizada a Equação Universal de Perdas associada a relações de transferência de sedimentos, numa tentativa de se estimar a quantidade de partículas de solo que efetivamente são depositadas em cursos d'água e reservatórios no estágio final do processo erosivo. Embora nenhum outro modelo mais objetivo tenha sido desenvolvido até o momento, reconhece-se que seu emprego apresente restrições devidas, principalmente, às dificuldades de se controlar variáveis secundárias e suas interações, em condições de campo.

Presumindo-se que as perdas de solo e a consequente produção de sedimentos que ocorrem na bacia hidrográfica venham produzindo assoreamento e poluição da água, este trabalho visa avaliar a sedimentação no reservatório situado na Fazenda Sertãozinho, da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz».

Com a finalidade de se realizar uma estimativa da quantidade de sedimentos depositados anualmente e avaliar a eficiência das práticas de controle da erosão que vêm sendo utilizadas, desenvolveu-se um estudo dirigido aos seguintes objetivos específicos:

a - determinar o valor dos fatores locais que influenciam as perdas de solo na bacia hidrográfica;

b - apresentar, com base nos dados obtidos pela Equação Universal de Perdas de Solo e em relações de transferência de sedimentos, alternativas de manejo para reduzir a produção de sedimentos e aumentar o período de utilização do reservatório.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As perdas de solo e a poluição por sedimentos causam problemas em quase todas as áreas da atividade humana.

A previsão da quantidade de perdas e o planejamento do controle da erosão pela água é feito com base na Equação Universal de Perdas de Solo, que é considerada, atualmente, como uma das técnicas mais eficientes.

Estimativas das Perdas de Solo

HUDSON (1971) relatou que as primeiras investigações científicas sobre a erosão foram realizadas pelo pesquisador alemão Wollny, entre 1877 e 1895, utilizando pequenas parcelas para a determinação dos efeitos da vegetação e da cobertura morta, com referência à interceptação da chuva e alterações na estrutura do solo e da influência do tipo de solo e da declividade em relação ao escoamento superficial. Admitiu que, com exceção deste trabalho pioneiro, os Estados Unidos vêm liderando as pesquisas sobre a erosão, desde 1917, quando Miller publicou os primeiros resultados quantitativos obtidos em parcelas experimentais. Considerou, ainda, que somente neste século a erosão vem sendo seriamente pesquisada e que os estudos de conservação do solo em termos quantitativos só foram efetivamente iniciados em 1950.

Segundo a FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, FAO (1967), em algumas regiões dos Estados Unidos, já em 1952, utilizavam-se equações empíricas porém de valor prático, para a previsão de perdas de solo e adoção de medidas para seu controle.

WISCHMEIER & SMITH (1960) conseguiram um significativo aperfeiçoamento nas previsões através da equação universal de perdas de solo. Esta equação resultou da análise estatística de dados de pesquisas iniciadas a partir de 1930, em cerca de 10.000 parcelas/ano, situadas em 48 estações experimentais americanas. Agrupando as variáveis que influenciam as perdas de solo em seis fatores ela pode ser expressa como:

$$A = RKLSCP;$$

onde, A é a perda média anual de solo em t/ha/ano; R, o fator erosividade da chuva representado por índices numéricos que representam a capacidade da chuva em provocar erosão; K, o fator erodibilidade, o qual reflete a susceptibilidade do solo à erosão, sendo definido como a perda média anual de solo, em t/ha por unidade do fator R, para uma área com declive de 9% e comprimento de 22,1 m, sem práticas conservacionistas e sem cobertura vegetal (parcela padrão); LS, C e P são, respectivamente, o fator topográfico, o fator manejo das culturas e o fator práticas conservacionistas, os quais são relações que comparam as perdas de solo sob

específicas condições de relevo, cobertura vegetal e práticas de controle da erosão com as perdas que ocorrem em uma parcela padrão.

Além de estimativas mais precisas das perdas de solo por erosão laminar e em sulcos, a equação universal de perdas de solo apresenta a vantagem de poder ser aplicada em qualquer local onde ocorra erosão provocada pela chuva, desde que se disponham dos valores locais de seus fatores (WISCHMEIER & SMITH, 1965; FAO, 1967; HUDSON, 1971; BEASLEY, 1972).

No Brasil, em 1943, com a criação da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, em Campinas, os trabalhos sobre o controle da erosão foram intensificados. Entretanto, somente a partir de 1974, publicaram-se trabalhos relativos à equação universal de perdas de solo neste país. Com referência à avaliação dos fatores da equação universal de perdas de solo pode-se citar as pesquisas a seguir relacionadas.

BERTONI *et alii* (1975) determinaram, em condições de campo, os valores de todos os fatores da equação de perdas para o Latossolo Roxo do Centro Experimental de Campinas. Os valores obtidos foram $R = 686$; $K = 0,1222$; $C = 0,6846$ para algodão e $C = 0,2193$ para soja contínua. Os valores de P variaram de acordo com o tipo de prática conservacionista adotada, com amplitude de 1 para o plantio no sentido do declive até 0,1 para terraços. Os valores de LS foram obtidos em gráfico que indica as relações do efeito integrado do comprimento e percentagem do declive com referência às perdas de terra.

SILVA & FREIRE (1978), analisando dados de precipitação e intensidade das chuvas obtidos de pluviogramas da Estação Meteorológica da ESALQ, durante o período de 1957 a 1966, estimaram o fator R igual a 552,7 para Piracicaba, utilizando nos cálculos o índice $KE > 25$. Este índice foi sugerido por HUDSON (1971) como o mais adequado para avaliar a erosividade da chuva, em climas tropicais e subtropicais.

WISCHMEIER (1976) advertiu que as perdas de solo provocadas por certas precipitações que ocorrem em anos específicos, são influenciadas por flutuações nos efeitos de parâmetros secundários, os quais afetam temporariamente os valores dos fatores da equação. Como os efeitos positivos e negativos destas flutuações tendem a um equilíbrio durante um longo pe-

ríodo de tempo, considerou que não invalidam a equação para previsões de perdas médias a longo prazo, em áreas sob condições específicas de manejo. Verificou que os valores dos índices de erosividade máximo e anual tendem a seguir uma distribuição de frequência log-normal, sendo aconselhável, para finalidades práticas, um estudo das probabilidades de recorrência destes valores, em análise de precipitações por períodos superiores a 22 anos.

Com base nestes dados, LOMBARDI NETO (1977) calculou para o período de 1954 a 1975, a distribuição de frequência e intervalos de recorrência, determinando a curva de probabilidade do índice de erosividade para Campinas. Verificou que neste período o valor médio anual de R era 690 com um erro padrão da média igual a 247. Os dados indicaram ainda que 62% do índice de erosividade ocorria durante dezembro a fevereiro.

Com relação ao fator K, inúmeras pesquisas foram realizadas para identificar as propriedades que exercem maior influência na erodibilidade dos solos. Dentre estas a mais consistente parece ter sido a pesquisa de WISCHMEIER & MANNERING (1969) pois teve como base dados de 55 diferentes solos e detalhado estudo estatístico de 15 propriedades relacionadas com este parâmetro. Concluíram que a erodibilidade resulta de dois tipos de propriedades do solo:

a) propriedades que afetam sua capacidade de infiltração determinando a quantidade e a intensidade do deflúvio;

b) propriedades que influenciam sua capacidade em resistir à desagregação e transporte pela ação erosiva das gotas de chuva e do deflúvio.

Com base nestas conclusões, confirmadas pela análise de um grande número de pesquisas, WISCHMEIER *et alii* (1971) desenvolveram o método nomográfico para o cálculo de K, no qual são utilizados apenas cinco parâmetros: porcentagem de silte mais porcentagem de areia muito fina, porcentagem de areia maior que 0,1 mm, porcentagem de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade. Por sua objetividade, esta determinação indireta poupa tempo e recursos em relação à determinação direta do fator K.

FREIRE & PESSOTTI (1976) calcularam pelo método nomográfico, os fatores de erodibilidade dos solos de Piracicaba, encontrando uma variação de 0,06 a 0,57 e concluíram que os valores são mais altos nos solos com um horizonte argílico e de

crecem nos solos com um horizonte óxico ou um horizonte óxico associado com um argílico.

No estágio atual das pesquisas, o fator LS é provavelmente o mais controvertido dos fatores da equação de perdas de solo, principalmente em áreas de topografia movimentada.

De acordo com WISCHMEIER & SMITH (1965), uma avaliação correta das condições de uma bacia hidrográfica para seleção de valores adequados do fator LS é importante, mas a interpretação é frequentemente muito difícil, em vista da complexidade da topografia local. Realmente a diversidade dos tipos de vegetação e uso do solo sobrepostos em uma topografia complexa constituem um problema na avaliação deste fator. ROOSE (1977) também considerou esta limitação, afirmando que, cientificamente, o fator topográfico é o ponto fraco da equação universal de perdas de solo, porque a influência da declividade não é independente da cobertura vegetal, das técnicas de cultivo, do solo e provavelmente do clima.

Em situações particulares o efeito do relevo irregular pode provocar variações locais nas perdas de solo pois o emprego da declividade média em todo o comprimento do gradiente, subestimaria as perdas nos declives convexos e superestimaria as perdas nos declives côncavos (WISCHMEIER & SMITH, 1965; HUDSON, 1972; WISCHMEIER, 1976). Entretanto, LI *et alii*, (1977) concordando com Meyer e Kramer, Young e Mutchler e Meyer *et alii*, afirmaram que a intensidade da erosão aumenta com o tempo, mesmo em declives côncavos.

WILLIAMS e BERNDT (1977) afirmaram que o fator topográfico é particularmente passível de erros na determinação de declividades médias, por que estes aumentam em declives acima de 3%, mas erros na avaliação do comprimento médio dos declives não são tão críticos pois eles diminuem até mais da metade no cálculo de LS.

GUPTA *et alii* (1977) estimaram os comprimentos e declividades predominantes em áreas de até mais de 340 km², através de aproximações, com base apenas em distribuições de frequência.

FOSTER & WISCHMEIER (1974) desenvolveram uma equação para o cálculo de LS em declives irregulares, mas esta não prevê deposição de sedimentos e ainda vem sendo pesquisada no sentido de seu aprimoramento.

O fator C reflete a ação conjugada dos efeitos da vegetação e de seu manejo com relação à diminuição das perdas de solos. Baver, citado por SMITH & WISCHMEIER (1962) classificou os principais efeitos da vegetação em relação à intensidade da infiltração, ao deflúvio e ao aumento da resistência do solo contra a erosão.

Uma longa série de pesquisas tem sido feitas para determinação dos valores de C em função dos mais variados tipos de vegetação utilizada em agricultura intensiva com altos níveis de manejo, principalmente nos Estados Unidos e também em outras regiões de agricultura ainda em desenvolvimento como em alguns países da África (WISCHMEIER, 1960; ROOSE, 1977). Entretanto, infelizmente, poucas pesquisas foram realizadas para determinação do fator C para florestas, embora PATRIC & BRINK (1977) reconheçam que atualmente uma necessidade cada vez maior de estimativas de perdas de solo em áreas florestais sob diferentes tipos de manejo, afirmando ainda ser crescente a aceitação da equação universal de perdas de solo como um método válido para previsão da erosão laminar e em sulcos em florestas sob baixos níveis de manejo. Em excelente revisão sobre a influência das florestas na redução das perdas de solo, afirmaram existir ampla evidência de que as perdas de solo, em áreas florestais com alto nível de manejo, são muito baixas variando de 0,02 a 0,45 t/ha/ano.

DAKER (1976) recomendou que toda bacia hidrográfica deva ser completamente coberta de vegetação, esclarecendo que para um conveniente aproveitamento hidrológico de toda a bacia, aliado a um eficiente controle da erosão, é desejável uma cobertura herbácea da parte baixa, junto às nascentes e afluentes, até a meia encosta. Sugeriu que o reflorestamento deveria ser realizado apenas da meia encosta, para cima, da bacia de captação.

Realmente, o aproveitamento hidrológico de uma bacia hidrográfica em relação à vegetação é um aspecto importante a observar. LIMA (1975) analisando a amplitude máxima de variação da água no solo, em relação a três tipos de vegetação, em uma Terra Roxa Estruturada «Intergrade» para Latossolo Vermelho-Amarelo, em Piracicaba, verificou que a recarga da água do solo foi maior na vegetação herbácea que em pinus e eucaliptos. As diferenças de recarga da água do solo foram proporcionais às

diferentes perdas médias por interceptação nos povoamentos florestais. A interceptação média da água da chuva causada pelo povoamento de pinus foi 7,2% e a de eucaliptos foi de 12,4%. Os resultados obtidos sugeriram que não houve efeito adverso sobre o regime da água do solo como decorrência do plantio de eucalipto ou de pinus, em comparação com o regime observado em solo revestido por vegetação herbácea natural.

O fator P tem seus valores determinados em função das classes de declive. Estes valores são aceitos e indicados, pela maioria dos pesquisadores, como válidos para utilização em quaisquer situações onde seja necessário verificar o efeito das práticas conservacionistas em relação às perdas de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1965; FAO, 1967; HUDSON, 1971; BEASLEY, 1972).

HUDSON (1971) afirmou que o efeito das práticas conservacionistas não parece variar de um país para outro e que, o projeto e construção de práticas mecânicas de proteção do solo podem ser diferentes mas os valores americanos de P, para o cultivo em contorno e terraceamento, poderiam ser adotados corretamente, até que experiências locais sugerissem seu aperfeiçoamento. Vale ressaltar apenas que WISCHMEIER (1976) adverte sobre a aplicação indiscriminada de valores de C e P indicados nos manuais sem considerar limites de comprimento dos declives além dos quais as práticas tornam-se inefetivas; quando uma prática é rompida pela excessiva acumulação do deflúvio, os valores de C e P aumentam rapidamente.

A exemplo das determinações dos fatores da equação de perdas de solo, a tolerância de perdas de terras também ainda não recebeu a devida atenção dos pesquisadores no Brasil. No Estado de São Paulo, destaca-se apenas a pesquisa de LOMBARDI NETO & BERTONI (1975) na qual foram estudadas as tolerâncias de perdas de terra admissíveis para 75 perfis de solos deste Estado. Os valores de tolerância média de perdas de terra encontrados variaram de 4,5 a 13,4 t/ha/ano e de 9,6 a 15,0 t/ha/ano, respectivamente, para solos com B textural e solos com B latossólico.

Estimativa da Produção de Sedimentos

BEASLEY (1972) admitiu que, onde áreas agrícolas constituem fontes de produção de sedimentos, a equação univer-

sal de perdas de solo pode, também, ser empregada para prever a intensidade de sedimentação em reservatórios.

WISCHMEIER (1976) concordou com Beasley, desde que a combinação dos valores dos fatores, para o uso correto da equação, possa refletir como estes parâmetros estão associados em cada subárea de uma bacia hidrográfica. A soma das estimativas de perdas de solo para cada parcela é aproximadamente igual à quantidade de solo movimentado de sua posição original. Entretanto, a produção de sedimentos na área de drenagem é diminuída por sua deposição na base das encostas, em depressões, em locais onde existam práticas para sua contenção e mesmo ao longo da área percorrida pelo deflúvio. Portanto, este autor afirmou que por não ser ainda disponível uma equação para deposição, utiliza-se uma relação de transferência de sedimentos (sediment delivery ratio) para estimativa da sedimentação abaixo das áreas nas quais foi computado o total de perdas de solo. Afirmou ainda, que a estimativa de produção de sedimentos obtida por esta metodologia, representa uma média, para longos períodos, nas condições particulares da bacia hidrográfica.

STEPHENS *et alii* (1977) definiram a relação de transferência de sedimentos, em termos quantitativos, como a produção de sedimentos de um determinado ponto, em uma bacia hidrográfica dividida pelo total de perdas de solo que ocorrem nas vertentes durante o mesmo período. Em pesquisas de sedimentação a nível de reconhecimento, afirmaram ser necessário estimar relações de transferência, principalmente quando não existem reservatórios onde se possa obter dados sobre acumulação de sedimentos ou quando não se dispõe de tempo para avaliação dos sedimentos em suspensão.

CRUCIANI (1976) admitiu que o destino final de todos os reservatórios é o de ficarem cheios de sedimentos e que a vida útil de um reservatório é tanto mais curta quanto menor for sua capacidade e maior for o transporte de sedimentos. Esclareceu que o processo de sedimentação pode ser muito demorado; mas, de qualquer forma, a vida útil do reservatório termina quando os sedimentos acumulados impedem o seu funcionamento tal como foi projetado.

LI *et alii* (1977) reconheceram que a maior parte dos sedimentos transportados pelos rios e depositados em reservatórios provêm da erosão em bacias hidrográficas. A aplicabilidade de

um modelo, por eles desenvolvido, visando dar significado físico ao processo erosivo foi limitado por condições específicas do experimento. Os autores sugeriram que são necessárias mais pesquisas para avaliar sua equação. Concluíram, porém, que os resultados obtidos estavam de acordo com as conclusões de Meyer *et alii*, pois, observaram que o aumento do número de sulcos era diretamente proporcional à intensidade do deflúvio e ao aumento da declividade e inversamente proporcional ao tamanho das partículas do solo.

HEDLUND (1977), analisando dados fornecidos pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, concluiu que a erosão e a sedimentação por ela provocada, era responsável pelos principais problemas relacionados com a degradação das terras e da qualidade da água em 11 Estados situados na região oeste daquele país. Observou que a modificação da cobertura vegetal pela atividade do homem provocava o agravamento destes problemas em curto prazo. Verificando que em 10,4 milhões de ha daqueles Estados, existiam sérios problemas causados pela erosão, admitiu que estes ocorriam a partir de uma média anual de produção de sedimentos superior a 4,8 m³/ha, concluindo que a relação entre sedimentos e o transporte de todas as formas de poluentes necessitava ser melhor analisada.

HUNGRIA & LOBERTO (1976) determinaram por batimetria, o volume total assoreado em duas barragens de contenção de cheias, em Lorena-SP, no período de 1967 a 1972. Nos lagos das barragens do Ribeirão dos Mottas e do Ribeirão do Taboão, verificaram taxas de assoreamento de 212 m³/km²/ano e de 428 m³/km²/ano, respectivamente, com um volume médio de assoreamento de 3,2 m²/ha/ano. Considerando que, nas duas bacias hidrográficas, ocorria o mesmo solo (Podzólico Vermelho-Amarelo, «Intergrade» para Latossolo Vermelho-Amarelo) e que apresentavam topografias e climas semelhantes, concluíram que o tipo de cobertura vegetal predominante era responsável pela diferença nas taxas de assoreamento. Na bacia do Ribeirão dos Mottas predominava a grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) e na bacia do Ribeirão do Taboão, o capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv).

MEYER *et alii* (1975) identificaram 104 segmentos de estradas, totalizando 1,22 ha, sem nenhuma proteção de cobertura vegetal em seus taludes, em uma bacia hidrográfica em Wis-

consin nos Estados Unidos. Utilizando a equação universal de perdas de solo, estimaram que anualmente a erosão provocava perdas médias de 874,38 t/ha nestas áreas não vegetadas. Em parcelas experimentais localizadas em pontos selecionados, determinaram a produção de sedimentos. Concluíram que diferenças na erodibilidade entre solos superficiais e horizontes de sub-superfície, variações relacionadas com a duração do período de amostragem e com variações nas precipitações em épocas distintas foram os fatores responsáveis pelas diferenças entre as perdas previstas e a produção de sedimentos determinada experimentalmente.

FALLETTI (1977) estimou que, as estradas, o fogo e o manejo da vegetação por meios mecânicos, apresentam alto potencial para degradação da qualidade da água por sedimentos. As pastagens e o corte de árvores para obtenção de madeira apresentam médio potencial e atividades de recreação, baixo potencial para a poluição da água por sedimentos.

FOSTER & HUGGINS (1977) observaram que os produtos químicos aplicados na agricultura e adsorvidos às argilas podem ser depositados juntamente com o silte e areias, concluindo que o impacto das gotas de chuva e o deflúvio fracionam as partículas do solo mais sob a forma de agregados do que de partículas primárias. Suas observações do movimento dos agregados sob chuvas simuladas indicaram que estes se deslocam e se depositam de forma semelhante às das partículas primárias, permanecendo intatos e se dispersando somente quando alcançam fluxos concentrados em canais. Estes pesquisadores não obtiveram resultados satisfatórios através de experiências com um modelo simulado de deposição de sedimentos em declives côncavos pois, as frações mais finas de areia utilizadas apresentaram muita variação nos dados obtidos. Concluíram que uma melhor avaliação do fluxo hidráulico e uma adequada equação para cálculo de sua capacidade de transporte de sedimentos ainda são necessárias para estimativas mais precisas de deposição.

FOGEL *et alii* (1977) e SIMONS *et alii* (1977) também encontraram limitações para extrapolar seus modelos visando avaliar a produção e acumulação de sedimentos através de modificações no cálculo do fator R da equação universal de perdas de solo.

Com relação à definição de uma tolerância para a poluição por sedimentos, KANERVA & PORTS (1977) com apoio na estimativa geralmente aceita de que a intensidade da erosão, em bacias hidrográficas bem protegidas contra as perdas de solo, varia de 0,22 a 2,24 t/ha/ano, admitiram que perdas dentro deste intervalo não deveriam ser consideradas como poluição por sedimentos. Segundo estes autores as perdas estimadas em áreas agrícolas variam de 0,7 a 13,4 t/ha/ano e em áreas de construções urbanas podem variar de 11,2 a 448,4 t/ha/ano.

MATERIAL E MÉTODO

Material

O material utilizado neste trabalho é constituído por uma pequena bacia hidrográfica provida de uma represa, cuja água é utilizada para suprir parte das necessidades da ESALQ.

Método

Equação universal de perdas de solo: Esta equação foi empregada para a estimativa das perdas anuais provocadas pela erosão laminar e em sulcos que ocorrem na bacia hidrográfica.

Avaliação de R

No cálculo da erosividade, utilizou-se o índice $KE > 25$, proposto por HUDSON (1971), cujo valor anual médio ou fator R é igual a 552,7. Este valor foi obtido em trabalho de SILVA & FREIRE (1978), na avaliação da erosividade das chuvas de Piracicaba, durante o período de 1957 a 1966.

Avaliação de K

O fator erodibilidade do solo foi determinado por SILVA e FREIRE (1978), de acordo com o método de WISCHMEIER *et alii* (1971). O valor médio dessa característica da Série Sertãozinho é, segundo aqueles autores, de 0,12.

Avaliação de LS

Para a avaliação do fator topográfico utilizou-se a planta planialtimétrica mostrada na figura 1. Esta planta foi obtida por restituição aerofotogramétrica, utilizando-se pares estereoscópicos na escala 1:8.000, do arquivo Aerofotogrametria e Fotointerpretação da ESALQ. Na planta planialtimétrica dividiu-se a área da bacia hidrográfica em parcelas homogêneas quanto às classes

de declive. Os intervalos destas classes, citados por FREIRE (1973), foram determinados em função da classe textural do solo, franco arenoso. A figura 2 mostra as parcelas homogêneas e as áreas que ocupam na bacia hidrográfica.

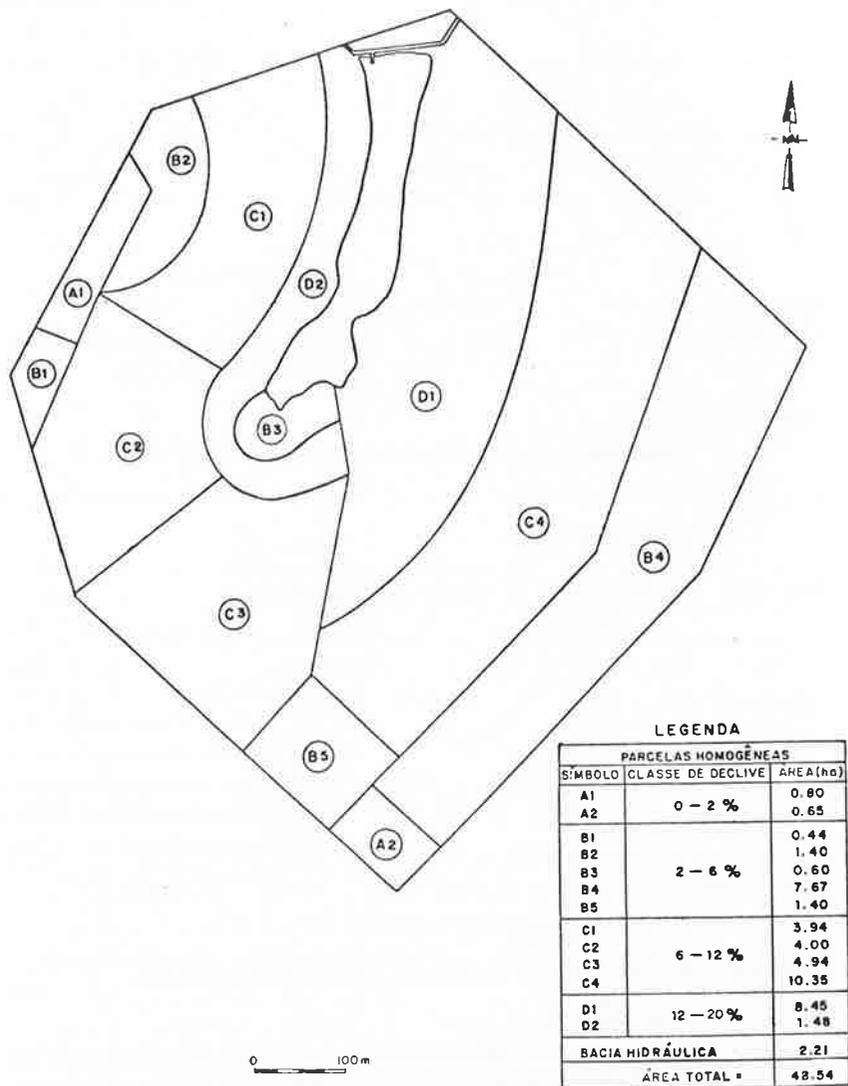


FIGURA 1 - Parcelas homogêneas em relação às classes de declive.

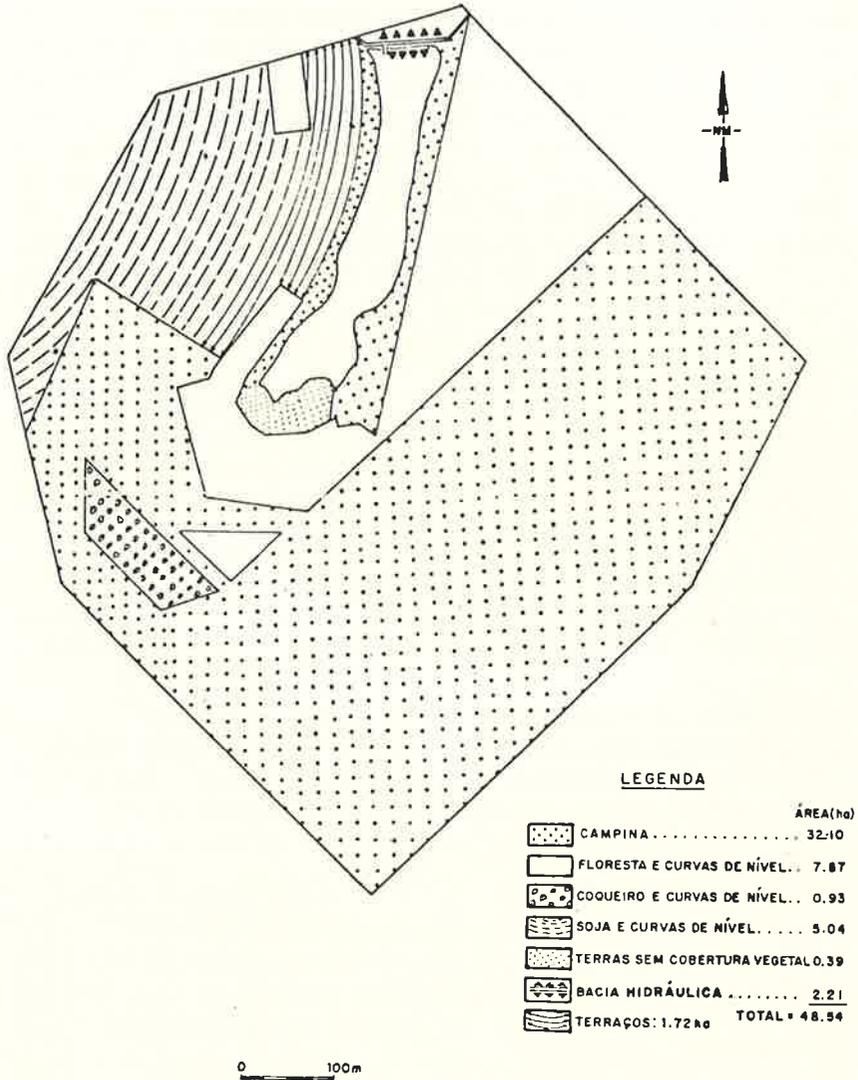


FIGURA 2 - Tipos de cobertura vegetal e práticas conservacionistas.

Avaliação de C

Com recursos de fotointerpretação e observações de campo, efetuou-se o mapeamento dos tipos de cobertura vegetal utilizando-se, para o fator C, os valores do quadro I.

QUADRO I - Valores do fator C para alguns tipos de cobertura vegetal.

Cobertura vegetal	Valor médio anual de C	Referência
Floresta	0,001	(ROOSE, 1977)
Gramma de crescimento rápido	0,01	(FARMER & FLETCHER, 1977)
Campina	0,1	(ROOSE, 1977)
Soja	0,2193	(BERTONI, 1975)
Coqueiro	0,3	(ROOSE, 1977)

Avaliação de P

Foram utilizados para o fator P, os valores do quadro II, adotando-se como referencial, o ponto médio das classes de declive adotadas no presente trabalho.

QUADRO II - Valores do fator P para as práticas conservacionistas.

Classes de declive (%)	Limites de comprimento do declive para curvas de nível (m)	Valores do fator P	
		Cultivo em nível	Terraços
1.1 - 2	121,92	0,60	—
2.1 - 7	91,44	0,50	—
7.1 - 12	60,96	0,60	0,12
12.1 - 18	30,48	0,80	0,16

(WISCHMEIER & SMITH, 1965; BEASLEY, 1972)

Com referência ao fator P para terraços, adotou-se um valor equivalente a 20% do valor para o cultivo em curvas de nível, de acordo com a metodologia indicada por BEASLEY (1972), para estudos específicos de sedimentação em bacias hidrográficas.

Estimativa de perdas de solo

Atribuindo-se valores aos fatores R, K, LS, C e P, considerados como os mais representativos das condições específicas

de cada parcela homogênea, foram calculadas suas perdas médias anuais. O valor das perdas médias anuais (t/ano), em toda a área da bacia hidrográfica, foi obtido pela somatória dos valores A (t/ha/ano) em cada parcela.

Eficiência de práticas para controle da erosão

Verificou-se a eficiência das práticas conservacionistas, comparando-se as perdas de solo, em cada parcela homogênea, com o limite de tolerância para o Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa, para o qual LOMBARDI NETO & BERTONI (1975) indicaram uma amplitude de tolerância de perdas de 13,6 a 15,3 t/ha/ano. Com base nestas comparações, foram identificadas as parcelas onde as perdas de solo eram superiores a 13,6 t/ha/ano.

Estimativa da transferência de sedimentos

Estimou-se uma relação de transferência de sedimentos de 10% (WISCHMEIER, 1976; STEPHENS *et alii*, 1977). Realizou-se esta estimativa com base nas condições da bacia hidrográfica em relação ao seu relevo, solo, vegetação e manejo atual.

Práticas para reduzir a produção de sedimentos

De acordo com KANERVA & PORTS (1977), perdas menores do que 2,24 t/ha/ano não devem ser consideradas como poluição por sedimentos. Foram propostas, portanto, práticas de caráter vegetativo para as áreas cujas perdas superaram aquele limite.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos, de acordo com a metodologia adotada, permitiram que se chegasse aos resultados que estão apresentados e discutidos nos subcapítulos que vêm a seguir.

Fatores que determinam as perdas de solo

As perdas de solo dependem da interação de vários fatores, cuja relação é representada pela Equação Universal de Perdas de Solo.

Erosividade da Chuva (R)

O valor médio anual de R igual a 552,7 determinado no período de 10 anos, apresentou uma amplitude de 471,8 a 995,9 (SILVA & FREIRE, 1978). A erosividade da chuva atinge valores mais elevados no verão, correspondendo aos meses de novembro a fevereiro, sendo que 60% do valor de R em sua curva de distribuição ocorre neste período. Nesta estação do ano, portanto, deve-se esperar a maior perda de solo, já que maior também será a intensidade da erosão pela água.

O índice de erosividade da chuva $KE > 25$, proposto por HUDSON (1971), e adotado no presente trabalho, parece ser o mais adequado para avaliação do fator R em Piracicaba, porque este Município se situa em clima subtropical.

Para uma avaliação dos efeitos cíclicos deste fator, sugere-se que a análise de dados correspondentes ao período de 1957 a 1966, seja prolongada. A análise dos dados por um período mais longo permitiria a determinação da curva de probabilidade do índice $KE > 25$, sua distribuição de frequência e intervalos de recorrência, de acordo com a metodologia indicada por WISCHMEIER (1976) para o $E_{1,50}$ e adotada por LOMBARDI NETO (1977).

Erodibilidade do solo (K)

O valor da erodibilidade do solo representativo da Série Sertãozinho que ocorre em toda a bacia hidrográfica estudada, segundo SILVA & FREIRE (1978), é de 0,12. A pequena amplitude de variação dos intervalos de confiança dos parâmetros indica que os dados são representativos da referida unidade pedológica. A alta porcentagem de areia, associada à permeabilidade moderada a rápida, são, provavelmente, os fatores que mais contribuem para a baixa erodibilidade deste solo. O baixo valor da erodibilidade determinado pelo método nomográfico é coerente com as observações de campo, através das quais não se constatou erosão severa em nenhum local da bacia hidrográfica.

Fator topográfico (LS)

O quadro III mostra os valores médios do comprimento e das classes de declive, determinados na superfície da bacia hidrográfica, e os valores do fator LS resultantes das combinações específicas destes parâmetros nas parcelas homogêneas.

QUADRO III - Fator LS para combinações dos valores médios do comprimento e das classes de declive nas parcelas homogêneas.

Parcelas	Classe de declive (%)	Comprimento do declive (m)	Fator LS
A1	0 - 2	40	0,16
A2		104	0,25
B1	2 - 6	48	0,52
B2		60	0,58
B3		56	0,56
B4		120	0,82
B5		160	0,94
C1	6 - 12	120	2,33
C2		190	2,74
C3		250	3,37
C4		156	2,66
D1	12 - 20	176	6,94
D2		46	3,55

O fator LS constituiu um parâmetro de difícil avaliação, em vista da diversidade de situações topográficas e de manejo do local. Para tanto, subdividiu-se a área da bacia hidrográfica em parcelas homogêneas, procurando-se evitar a incorreção de considerar a média de duas classes de declive. Entretanto, é provável que, neste caso a avaliação do comprimento dos declives, embora matematicamente correta, subestime o valor de LS, mesmo considerando as conclusões de WILLIAMS & BERNDT (1977).

Existem locais onde o declive se apresenta com forma côncava, como na cabeceira da bacia hidráulica, abrangendo regiões das parcelas C2, C3, D1 e D2. Já, nas parcelas C4 e D1 há predominância de declives uniformes e em parte das parcelas C1 e D2 ocorrem declives de forma convexa. Neste caso, a metodologia adotada no presente trabalho poderia subestimar as perdas nos declives convexos e superestimá-las em declives côncavos (WISCHMEIER & SMITH, 1965; WISCHMEIER, 1976; LI, 1977).

As alternativas para determinações do fator LS em declives irregulares, sugeridas por GUPTA *et alii* (1977), FOSTER & WISCHMEIER (1974) e WILLIAMS & BERNDT (1977), não foram uti-

lizadas porque os poucos dados disponíveis na literatura, até o presente, foram insuficientes para orientar sua aplicação nas condições da bacia hidrográfica em estudo.

As dificuldades e limitações encontradas para avaliação do fator LS, indicadas por WISCHMEIER & SMITH (1965) e ROOSE (1971), foram comprovadas no presente trabalho.

Fator manejo das culturas (C)

Não existem dados experimentais locais e específicos para o fator C em relação aos tipos de vegetação que ocorrem na área em estudo. Os valores deste fator, mostrados no quadro I e adotados no presente trabalho, representam, portanto, aproximações com base em dados disponíveis na literatura e no julgamento subjetivo do efeito que estes tipos de vegetação podem causar na diminuição das perdas de solo local (SMITH & WISCHMEIER, 1962; BERTONI, 1975; FARMER & FLETCHER, 1977; ROOSE, 1977). Alguns aspectos devem ser considerados em relação ao baixo valor do fator C adotado para floresta:

a) a interceptação de parte das precipitações pela floresta representa um importante efeito que este tipo de vegetação exerce na redução das perdas de solo, visto que a percentagem de água retida pela parte aérea, não atinge o solo e portanto não provoca erosão;

b) a camada orgânica sob floresta reduz a energia cinética das gotas de chuva não interceptadas pela parte aérea e um determinado solo sob este tipo de vegetação apresenta maior permeabilidade. As florestas também apresentam altas taxas de transpiração e constituem obstáculos ao deflúvio (LIMA, 1975; PATRIC & BRINK, 1977).

Os valores de C para campina e coqueiro refletem somente parte dos efeitos citados para a cobertura vegetal do tipo floresta e, portanto, é válido considerar que as perdas de solo, sob estes tipos de vegetação, também sejam relativamente altas.

O valor do fator manejo das culturas adotado para a soja é o mais consistente porque foi determinado por BERTONI (1975) em condições climáticas semelhantes às do local em estudo. Deve-se, entretanto, considerar que a proteção oferecida pela cobertura vegetal é gradativa, variando em função da rapidez com a qual reveste o solo em relação à curva de distribuição do fator R e das técnicas utilizadas para o aumento de produtividade.

Desta forma, os experimentos de campo constituem o método ideal para determinação do fator C.

Fator práticas conservacionistas (P)

Verificou-se que as curvas de nível, empregadas nas culturas de soja, coqueiro e reflorestamento, estão presentes em 30% do total das terras da bacia hidrográfica. Com relação aos limites de comprimento do declive para máxima eficiência das curvas de nível, deve-se acrescentar que estes não foram observados nas parcelas C1 e D1 onde estão localizadas partes da cultura de soja e reflorestamento. Isoladamente, portanto, esta prática não vem resolvendo satisfatoriamente o problema da erosão em algumas áreas onde foi adotada.

Os terraços ocupam apenas 3,7% do total das terras. Apresentam espaçamento horizontal quase nulo e uma base muito larga e plana, permitindo maior infiltração da água que desce pelo declive, reduzindo sua velocidade e, portanto, exercendo maior controle das perdas de solo.

É válido observar que os valores do fator P, mostrados no quadro II são indicados pela maioria dos pesquisadores (WISCHMEIER & SMITH, 1965; FAO, 1967; HUDSON, 1971; BEASLEY, 1972), mesmo para condições de solo e clima diferentes daquelas onde foram determinados.

Estimativa das perdas de solo

Os dados do quadro IV mostram que as perdas de solo estimadas (662,24 t/ano) em toda a área das terras da bacia hidrográfica (46,33 ha) correspondem a perdas médias de 14,29 t/ha/ano. Verifica-se que estas perdas estão dentro da amplitude de tolerância indicada por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975). Entretanto, existem áreas onde a intensidade da erosão é muito superior à tolerância para o solo em estudo.

As maiores perdas de solo ocorrem na parcela D1.2, onde o efeito protetor da vegetação herbácea que reveste o solo, não é suficiente para controlar a erosão pela água, influenciada em sua maior parte, pelo declive e ausência de práticas conservacionistas.

Toda a área ocupada pelos coqueiros apresenta perdas de solo, cerca de 2,5 vezes maiores que as permitidas pela tolerância máxima. Também, nesta área, o efeito do declive contribui para a maior intensidade da erosão, e o grande espaçamento

utilizado nesta cultura, não permite uma cobertura adequada do solo.

QUADRO IV - Estimativa das perdas de solo na bacia hidrográfica da Fazenda Ser-tãozinho, Piracicaba, SP.

Parcela		Valores médios anuais dos fatores da equação universal de perdas de solo						Equivalência de perdas em 1 ha (t/ha/ano)	
Símbolo	Área (ha)	Porcentagem de área total	RKLS	Cobertura vegetal	C	Prática conservacionista	P		Perdas nas parcelas (t/ha/ano)
A1	0,80	1,65	10,61	Soja	0,2193	Curva de nível	0,60	1,12	1,40
A2	0,66	1,36	16,58	Campina	0,1	—	—	1,09	1,65
B1	0,44	0,92	34,49	Soja	0,2193	Curva de nível	0,50	1,67	3,79
B2	1,40	2,88	38,47	Soja	0,2193	Curva de nível	0,50	5,90	4,21
B3.1	0,21	0,43	37,14	Floresta	0,001	Curva de nível	0,50	0,004	0,02
B3.2	0,39	0,81	37,14	—	—	—	—	14,48	37,14
B4	7,87	16,22	54,38	Campina	0,1	—	—	42,80	5,44
B5	1,40	2,88	62,34	Campina	0,1	—	—	8,73	6,23
C1.1	0,30	0,62	154,53	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,03	0,09
C1.2	2,40	4,94	154,53	Soja	0,2193	Curva de nível	0,60	48,80	20,33
C1.3	1,24	2,57	154,53	Campina	0,1	Terraços	0,12	2,30	1,85
C2.1	0,17	0,35	194,99	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,03	0,12
C2.2	0,34	0,70	194,99	Coqueiro	0,3	Curva de nível	0,60	11,93	35,09
C2.3	3,49	7,19	194,99	Campina	0,1	—	—	68,05	19,50
C3.1	0,63	1,30	223,51	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,08	0,13
C3.2	0,59	1,21	223,51	Coqueiro	0,3	Curva de nível	0,60	23,74	40,24
C3.3	3,72	7,62	223,51	Campina	0,1	—	—	83,14	22,35
C4.1	9,33	19,22	176,42	Campina	0,1	—	—	164,60	17,64
C4.2	1,02	2,11	176,42	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,11	0,10
D1.1	4,54	9,35	460,29	Floresta	0,001	Curva de nível	0,80	1,67	0,37
D1.2	3,91	8,07	460,29	Campina	0,1	—	—	179,97	46,03
D2.1	1,00	2,06	235,45	Floresta	0,001	Curva de nível	0,80	0,19	0,19
D2.2	0,48	0,99	235,45	Campina	0,1	Terraços	0,16	1,81	3,77
Bacia hidráulica	2,21	4,55							
Total	48,54	100,00						662,24	

A parcela B3.2, por não estar protegida por qualquer tipo de prática conservacionista de caráter mecânico ou vegetativo, apresenta grandes riscos de erosão, comprovados pela estimativa de perdas para esta área.

Com referência à parcela C1.2, ocupada pela soja, é importante observar que na implantação desta cultura, o solo se apresenta desprotegido, principalmente na época de maior erosividade das chuvas. Até que o desenvolvimento gradativo desta cultura ofereça adequada proteção ao solo, os riscos de erosão são altos. O manejo da vegetação por métodos mecânicos, de acordo com FALLETTI (1977), é uma das atividades que mais degradam a qualidade da água em termos de sedimentos. Este é mais

um motivo para que não seja recomendável, esta cultura na área da bacia hidrográfica.

Finalmente, as estimativas de perdas de solo nas parcelas C2.3, C3.3 e C4.1 indicam que não é suficiente o controle da erosão proporcionado apenas pela cobertura do solo pela vegetação do tipo campina que ocorre nestas áreas.

A influência das florestas implantadas em curva de nível, na drástica redução da intensidade da erosão está claramente evidenciada nas estimativas de perdas de solo determinadas nas parcelas revestidas por este tipo de vegetação. Mesmo nas regiões de maior declive onde se situam as essências florestais, as perdas de solo estimadas apresentam a amplitude de 0,10 a 0,37 t/ha/ano. Estes resultados confirmam as conclusões de PATRIC & BRINK (1977) e fortalecem a opinião de que, a longo prazo, nenhuma outra prática conservacionista supera a eficiência do reflorestamento.

Estimativa da transferência de sedimentos

A quantidade de sedimentos anualmente depositada em reservatórios, cursos d'água, estradas e terras agrícolas constitui um parâmetro que evidencia a necessidade de um controle adequado da poluição por estas partículas sólidas (BEASLEY, 1972; MEYER *et alii*, 1975; CRUCIANI, 1976; HUNGRIA & LOBERTO, 1976; HEDLUND, 1977; LI *et alii*, 1977; FOGEL *et alii*, 1977; STEPHENS *et alii*, 1977). Entretanto, simplesmente pelo fato do solo movimentado de sua posição original poder ficar retido em quaisquer obstáculos ao longo da área onde se desloca o deflúvio, a estimativa da transferência de sedimentos constitui um parâmetro de difícil avaliação.

Pela ausência de uma equação específica para avaliar a deposição de sedimentos, os pesquisadores vêm realizando previsões em termos muito genéricos de suas relações de transferência (WISCHMEIER, 1976; HILLIARD, 1977; KIMBERLIN, 1977; McCOOL *et alii*, 1977; PIEST *et alii*, 1977).

Tendo em vista as condições atuais de manejo, estimou-se ser baixa a relação de transferência de sedimentos na bacia hidrográfica. Esta estimativa teve como base os seguintes indicadores:

a) na área da bacia hidrográfica não foram identificadas outras formas de erosão além da erosão laminar e em sulcos;

b) por ser baixa a erodibilidade do solo, mais difícil é a sua desagregação e transporte pela ação da água. A predominância de areia (2-0, 10 mm) e pequenas porcentagens de silte, areia muito fina e argila indicam também ser pequena a quantidade de partículas passíveis de serem transportadas em suspensão;

c) o solo apresenta permeabilidade moderada a alta, o que facilitando a infiltração, diminui a intensidade do deflúvio e, em consequência, sua capacidade de transporte;

d) com exceção da região onde está implantada a soja, e que ocupa apenas 10,87% da área da bacia hidrográfica, todas as outras áreas estão cobertas por vegetação já estabilizada e o solo não sofre movimentação em consequência da mecanização;

e) na orla do reservatório, predomina a classe de maior declividade da área (12-20%). Entretanto, esta região representa apenas cerca de 1/5 do total das terras da bacia hidrográfica e está muito bem protegida por floresta e terraços, constituindo um obstáculo à transferência de sedimentos das áreas circunvizinhas.

Considerando, portanto, uma relação de transferência de 10% pode-se estimar que anualmente 66,22 t de sedimentos seriam acumuladas no reservatório. Em termos de volume esta quantidade de sedimentos pouco afetaria a capacidade do reservatório mesmo a longo prazo. A acumulação anual desta quantidade de sedimentos poderia, entretanto, provocar grandes prejuízos à qualidade da água.

Tendo em vista que a estimativa adotada no presente trabalho não tenha sido comprovada experimentalmente, deve-se considerá-la com as reservas a que todas as previsões estão sujeitas.

Alternativas para reduzir a produção de sedimentos

Não obstante, na bacia hidrográfica como um todo, as perdas de solo estejam dentro do limite de tolerância existem áreas onde as perdas superam o limite de 2,24 t/ha/ano, considerado por KANERVA & PORTS (1977) como poluição por sedimentos. Nestas áreas, para maior proteção do solo, é recomendável o plantio de grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) e o reflorestamento com coníferas (*Pinus* sp.).

O quadro V mostra a estimativa de perdas médias anuais e as reduções nestas perdas que seriam obtidas com a

substituição da cobertura vegetal, nas áreas onde o manejo atual não permite manter a intensidade da erosão abaixo de 2,24 t/ha/ano.

Uma estimativa preliminar indica que mesmo o reflorestamento de toda a bacia não comprometerá a capacidade plena do reservatório. Aplicando-se a expressão: $C = V \cdot (HA)^{-1}$; onde C é o coeficiente de «runoff»; V é o volume afluente anual equivalente à capacidade do reservatório (54.790 m³); H é a precipitação média anual que ocorre na bacia (1,2471 m) e A é a área da bacia (485.400 m²), encontra-se C igual a 0,09. De acordo com DAKER (1976), em condições de bacias hidrográficas inferiores a 500 ha, com vegetação de matas, solo de textura arenosa, topografia ondulada e classe de declive de 5-10%, o coeficiente de «runoff» é de 0,18, ou seja, 2 vezes maior que o necessário para o abastecimento do reservatório.

A adoção destas medidas para máximo controle das perdas de solo na bacia hidrográfica, tem como base, o princípio de que o melhor e mais simples modo de reduzir a sedimentação é controlar a erosão no próprio local onde ocorre. Além das espécies indicadas apresentarem bom desenvolvimento sob as condições ecológicas locais, as práticas conservacionistas de caráter vegetativo, favorecendo a cobertura do solo, são as mais efetivas, econômicas e fáceis de implantar.

Comparando-se os dados dos quadros IV e V pode-se constatar a possibilidade de uma redução de 97,97% nas perdas de solo pela substituição da cobertura vegetal nas áreas que apresentam maior intensidade da erosão. Neste caso, a intensidade da erosão seria de 13,42 t/ano o que corresponde a perdas médias de 0,29 t/ha/ano. A transferência de sedimentos para a bacia hidráulica seria mínima e as perdas de solo seriam mantidas dentro de limites muito baixos, o que permitiria classificar a bacia hidrográfica como muito bem protegida contra a poluição por sedimentos, segundo o conceito de KANERVA & PORTS (1977).

QUADRO V - Estimativa de perdas médias anuais de solo e redução nas perdas pela substituição da cobertura vegetal nas parcelas onde a intensidade da erosão é maior do que 2,47 t/ha/ano.

Parcela (símbolo)	Área (ha)	Valores médios anuais dos fatores da equação universal de perdas de solo							Redução nas perdas de so- lo (t/ha/ano)
		RKLS	Cobertura vegetal	C	Prática conservacionista	P	Perdas nas parcelas (t/ha/ano)	Equivalên- cia de per- das em 1 ha (t/ha/ano)	
B1	0,44	34,49	Gramma batatais	0,01	—	—	0,15	0,34	1,52
B2	1,40	38,47	Gramma batatais	0,01	—	—	0,54	0,38	5,36
B3.2	0,39	37,14	Gramma batatais	0,01	—	—	0,14	0,37	14,34
B4	7,87	54,38	Floresta	0,001	Curva de nível	0,50	0,21	0,03	42,59
B5	1,40	62,34	Floresta	0,001	Curva de nível	0,50	0,04	0,03	8,69
C1.2	2,40	154,53	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,22	0,09	48,58
C2.2	0,34	194,99	Gramma batatais	0,01	—	—	0,66	1,95	11,27
C2.3	3,49	194,99	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,41	0,12	67,64
C3.2	0,59	223,51	Gramma batatais	0,01	—	—	1,32	2,23	22,42
C3.3	3,72	223,51	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,50	0,13	82,64
C4.1	9,33	176,42	Floresta	0,001	Curva de nível	0,60	0,99	0,10	163,61
D1.2	3,91	460,29	Floresta	0,001	Curva de nível.	0,80	1,44	0,37	178,53
D2.2	0,48	235,45	Gramma batatais	0,01	Terraços	0,16	0,18	0,37	1,63
Total							6,80		648,82

CONCLUSÃO

Nas condições em que este trabalho foi desenvolvido e não se desprezando as limitações metodológicas atuais inerentes às previsões relativas à produção e transferência de sedimentos, os resultados obtidos conduziram à seguinte conclusão:

As perdas médias de solo na bacia hidrográfica estão abaixo do limite superior permissível, sendo que os sedimentos que atingem o reservatório pouco devem afetar sua capacidade mesmo a longo prazo. No entanto, uma redução de 97,9% nas perdas médias anuais de solo pode ser conseguida pela substituição da cobertura vegetal, atualmente utilizada, pelo reflorestamento com coníferas na meia encosta e no topo das elevações e grama batatais em determinados pontos das margens do reservatório onde a erosão é mais intensa.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de estimar as perdas de solo e avaliar a eficiência de práticas conservacionistas na redução da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica na Fazenda Sertãozinho, em Piracicaba, no Estado de São Paulo.

Utilizou-se a equação universal de perdas de solo para avaliar o total de perdas médias anuais de solo, através da subdivisão da área da bacia hidrográfica em parcelas de mesma classe de declive, nas quais, valores representativos dos fatores dessa equação pudessem ser definidos.

A somatória das perdas de solo, estimadas em cada parcela foi utilizada em conjunto com uma relação de transferência para a estimativa da deposição anual de sedimentos no reservatório situado na bacia hidrográfica.

A intensidade da erosão em toda a área de drenagem foi de 14,29 t/ha/ano, sendo que estas perdas estão dentro do limite de tolerância para o solo local. Foram observados os efeitos provocados pela deficiência de manejo, declividade e inadequada cobertura vegetal, no aumento das perdas de solo, em algumas áreas ocupadas com campina, coqueiro e soja. A eficiência no controle da erosão, proporcionada pelos terraços e pela floresta,

foi confirmada mesmo em áreas de maior declividade, onde as perdas de solo não excederam a 3,77 t/ha/ano.

Substituições no tipo de cobertura vegetal, nas áreas de maior intensidade da erosão, podem, no entanto, manter as perdas abaixo do limite de 2,24 t/ha/ano, considerado como insuficiente para provocar poluição por sedimentos. A Implantação de bosques de coníferas (*Pinus* sp.) e o plantio de grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), nestas áreas, possibilita controle satisfatório da erosão, mantendo as perdas médias de solo em torno de 0,29 t/ha/ano.

As principais limitações do presente trabalho estão relacionadas com a avaliação de valores adequados para a relação de transferência de sedimentos e para os fatores C e LS da equação universal de perdas de solo. Os resultados obtidos devem, portanto, ser considerados com as reservas próprias a previsões em que são utilizados parâmetros passíveis de variabilidade.

SUMMARY

This work was designed to estimate soil losses and to evaluate the effectiveness of conservation practices in reducing sediment load from a small watershed located in Fazenda Sertãozinho, Piracicaba, State of São Paulo.

The watershed was subdivided into areas according to their slope gradient class in an attempt to define representative values for the universal soil loss equation parameters applicable to specific conditions of the watershed studied. Soil loss from each of these areas was computed by means of this equation.

An annual sediment load in the water-reservoir located in the watershed was predicted by means of an estimated sediment delivery ratio.

Rate of erosion in all subareas in the watershed was 14.29 t/ha/yr and this average soil loss is within the prescribed tolerance level for the soil in the drainage area. The effects of slope steepness, poor management and inadequate vegetal cover on the increases of soil loss were verified in some areas occupied with prairies, coconut palms and soybeans.

Effectiveness of erosion control provided by terraces and forest was confirmed even for the steeper slopes, where soil loss did not exceed 3.77 t/ha/yr.

In order to hold soil loss below 2.24 t/ha/yr, a limit that should not be considered as sediment pollution, changes in the vegetative cover were suggested on areas where soil loss was higher. Reforestation and grass cover of these areas with *Pinus* sp. and *Paspalum notatum* Flugge should provide for maximum erosion control and average soil loss would not exceed 0.29 t/ha/yr.

Limitations of this work are related to evaluation of adequate values for the sediment delivery ratio and factors C and LS of the universal soil loss equation. The results offered in this work, should therefore, be viewed with the care indicated whenever the projection are based in parameters of high variability.

LITERATURA CITADA

- ALLISON, L.E., 1967. **Organic carbon**. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, p.1367-1378.
- BEASLEY, R.P., 1972. **Erosion and sediment pollution control**. Ames, Iowa, The Iowa State University Press, 320p.
- BERTONI, J., F. LOMBARDI NETO & R. BENATTI Jr., 1975. Equação de perdas de solo. Campinas, São Paulo, Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 25p. (Boletim Técnico n.º 21).
- BOUYOUCOS, G.J., 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. **Agronomy Journal** 43: 434-439.
- CAMPOS, H., 1976. **Estatística experimental não-paramétrica**, 2.a ed., Piracicaba, São Paulo, ESALQ-USP, 332p.
- CRUCIANI, D.E., 1976. **Hidrologia**. Piracicaba, São Paulo, ESALQ-USP, 134p.
- DAKER, A., 1976. **A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola**, 2.º vol., 5.a ed., Rio de Janeiro, Editora Freitas Bastos, 379p.
- E.U.A. SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D.C.U.S. Government Printing Office. 754p. (Agriculture Handbook n.º 436).
- F.A.O., 1967. **La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Roma, Itália, Organización de las Naciones Unidas. 207p. (Cuadernos de fomento agropecuario n.º 81).
- FALLETTI, D.A., 1977. Sediment prediction in wildland environments: a review. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, Iowa, p.183-192.
- FARMER, E.E. & J.E. FLETCHER, 1977. Highway erosion control systems: an evaluation based on the universal soil loss equation. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa, p.12-21.

- FOGEL, M.M., L.H. HEKMAN Jr. & L. DUCKSTEIN, 1977. A stochastic sediment yield model using the modified universal soil loss equation. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa, p.226-233.
- FORSYTHE, W., 1975. **Física de solos: manual de laboratório**. San José, Costa Rica, Editorial Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 212p.
- FOSTER, G.R. & L.D. MEYER, 1972. Transport of soil particles by shallow flow. **Transaction of the ASAE** 15: 99-102.
- FOSTER, G.R. & W.H. WISCHMEIER, 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. **Transaction of the ASAE** 17: 305-309.
- FOSTER, G.R. & L.F. HUGGINS, 1977. Deposition of sediment by overland flow. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa, p.167-180.
- FREIRE, O., 1973. Conservação do solo: apontamentos de aula. Piracicaba, São Paulo, ESALQ-USP. 98p.
- FREIRE, O. & J.E.S. PESSOTTI, 1976. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. **Revista de Agricultura** 51: 195-202.
- GUPTA, S.C., W.E. LARSON, L.D. HANSON & R.H. RUST, 1977. Área delineation of possible corn residue removal for bioenergy in four Minnesota counties. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, Iowa. p.353-361.
- HEDLUND, J.D., 1977. Erosion, sediment, and related salt problems and treatment opportunities in western states. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa. p.264-269.
- HILLIARD, R.L., 1977. The New York erosion and sediment inventory. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa. p.273-276.
- HUDSON, N.H., 1971. **Soil Conservation**, Ithaca, New York, Cornell University Press. 320p.
- HUNGRIA, L.S. & L.C. LOBERTO, 1976. Barragens dos Ribeirões dos Mottas e Taçoão: um estudo sobre assoreamento. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, São Paulo. p.571-580.
- KANERVA, R.A. & M.A. PORTS, 1977. Urban sediment control: the Maryland experience. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa. p.314-319.
- KIMBERLIN, L.W., 1977. Conservation treatment of erodible cropland: status and needs. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa. p.339-346.
- LI, R.M., D.B. SIMONS & D.R. CARDER, 1977. Mathematical modeling of soil erosion by overland flow. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa. p.210-216.

- LIMA, W.P., 1975. Estudo de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço hídrico em plantações de eucalipto e de pinus. Piracicaba, São Paulo, ESALQ-USP, 111p. (Tese de doutoramento).
- LOMBARDI NETO, F. & J. BERTONI, 1975. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas, São Paulo, Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, Campinas, 12p. (Boletim técnico n.º 28).
- LOMBARDI NETO, F., 1977. Rainfall erosivity: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Purdue University. 53p. (Tese de doutoramento).
- McCool, D.K., M. MOLNAU, R.I. PAPENDICK & F.L. BROOKS, 1977. Erosion research in the dryland grain region of the Pacific Northwest: recent developments and needs. In: SOIL CONSERVATION OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. p.50-59.
- MEIER, M.C., 1977. Research needs in erosion and sediment control. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa, p.85-89.
- MEYER, G.J., P.J. SCHOENEBERGER & J.H. HUDDLESTON, 1975. Sediment yields from roadsides: an application of the universal soil loss equation. **J. Soil Water Cons.**, 30: 289-291.
- PATRIC, J.H. & L.K. BRINK, 1977. Soil erosion and its control in the eastern forest. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa, p.362-368.
- PIEST, R.F., R.G. SPOMER & P.R. MUHS, 1977. A profile of soil movement on a cornfield. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, Iowa. p.160-166.
- RANZANI, G., 1956. Levantamento da carta de solos da Seção Técnica «Química Agrícola» da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz». Piracicaba, São Paulo, ESALQ-USP. 74p. (Tese de livre-docência).
- RANZANI, G., O. FREIRE & T. KINJO, 1966. **Carta de solos do Município de Piracicaba**, Centro de Estudos de Solos, Piracicaba, São Paulo, ESALQ-USP, 85p.
- ROOSE, E.J., 1977. Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, Iowa, p.60-74.
- SILVA, J.R.C. & O. FREIRE, 1978. Fator chuva para a aplicação na equação universal de perdas de solo, em Piracicaba. (A publicar na Revista de Agricultura, Piracicaba, São Paulo).
- SILVA, J.R.C. & O. FREIRE, 1978. Erodibilidade do Solo de Uma Pequena Bacia Hidrográfica localizada na E.S.A. «Luiz de Queiroz», Piracicaba, SP. **Rev. Agr.** (em impressão).
- SIMONS, D.B., A.J. REESE, R.M. LI & T.J. WARD, 1977. A simple method for estimating sediment yield. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, Iowa, p.234-241.
- SMITH, D.D. & W.H. WISCHMEIER, 1962. Rainfall erosion. **Advances in Agronomy**, New York, 14: 109-148.

- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Campinas, São Paulo, 1976. **Manual de método de trabalho de campo**, 4.^a reimpressão, S.B.C.S., 36p.
- STEPHENS, H.V., H.E. SCHOLL & J.W. GAFFNEY, 1977. Use of the universal soil loss equation in wide-area soil loss surveys in Maryland. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, Iowa. p.277-282.
- WILLIAMS, J.R. & H.D. BERNDT, 1977. Determining the universal soil loss equation's length-slope factor to watersheds. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, Iowa, p.217-225.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH, 1960. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. In: 7th INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, Madison, Wisconsin, p.418-425.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH, 1965. Predicting rainfall-erosion from cropland east of the Rocky Mountains. Washington, D.C., U.S.D.A. 47p. (Agriculture Handbook n.º 282).
- WISCHMEIER, W.H. & J.V. MANNERING, 1969. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Sc. Soc. Am. Proc.** 33: 131-137.
- WISCHMEIER, W.H., C.B. JOHNSON & B.V. CROSS, 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil Water Cons.** 26: 189-193.
- WISCHMEIER, W.H., 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. **J. Soil Water Cons.** 31: 5-9.