

LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES E ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO DADOS SOBRE A ERODIBILIDADE DE CLASSES DE SOLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Alexandre Marco da SILVA & Clayton Alcarde ALVARES

Laboratório de Ecologia Isotópica, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 303 – Bairro São Dimas. CEP 13400-970. Piracicaba, SP.
Endereços eletrônicos: amsilva@cena.usp.br; calvares@esalq.usp.br.

Introdução
Localização e Caracterização Ambiental da Área de Estudo
Metodologia
Resultados e Discussão
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – Objetivou-se neste trabalho resgatar informações contidas em diversos trabalhos e elaborar um banco de dados sobre erodibilidade para as classes de solos ocorrentes no Estado de São Paulo. As classes de solo foram determinadas conforme o mapa pedológico elaborado para o estado. Nesta revisão bibliográfica foram consideradas as informações sobre o valor da erodibilidade (fator K da Equação Universal de Perda de Solo), bem como outras informações complementares. Os valores de K encontrados tiveram médias aritméticas e desvio padrão determinados conforme o número de ocorrências nas fontes consultadas. Os Argissolos, Neossolos e Latossolos compreendem juntos 74% dos valores encontrados na literatura. Os Organossolos apresentaram o maior valor de K ($0,0610 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) e os Planossolos apresentaram o menor valor ($0,0097 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$). Os Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Neossolos e Organossolos tiveram os valores (médias aritméticas) interpretados como de alta erodibilidade. Os Latossolos e Nitossolos tiveram erodibilidade considerada média e os Planossolos apresentaram erodibilidade considerada baixa. Deste modo, os solos paulistas possuem, em sua maioria, uma erodibilidade considerada alta.

Palavras-chave: Erosão, Equação Universal de Perda de Solo, solos paulistas, conservação do solo.

ABSTRACT – *A.M. da Silva & C.A. Álvares – Survey of information and building of a database of the erodibility for the soils classes in the São Paulo State.* The aim of this paper is to survey the available information and elaborate a database of the soil erodibility for the soil classes that occur along the State of São Paulo. The soil classes were established according to the pedological map of São Paulo State. It was a review of the bibliographic data on erodibility value (K factor of the Universal Soil Loss Equation), as well as other additional information. The average and standard deviation of the available erodibility values were determined according to the number of data. The Acrisols, Arenosols and Ferralsols represented 74% of the values found. The Histosols presented the highest value of the K factor ($0.0610 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), while the Planosols presented the lowest value ($0.0097 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$). The value of the K factor of the Acrisols, Cambisols, Phaeozems, Podzols, Gleisols, Arenosols and Histosols were interpreted as being of high erodibility. The Ferralsols and Nitosols presented values interpreted as medium erodibility and the Planosols were considered as the lowest erodibility. The results indicate that the soils of the São Paulo State have, at mostly, an erodibility considered high.

Keywords: Erosion, Universal Soil Loss Equation, soils of São Paulo State, soil conservation.

INTRODUÇÃO

A área de domínio agrícola do Estado de São Paulo chega a 51,02% de seu território, enquanto que o Brasil inteiro possui 19,43% de sua superfície em cultivo, fazendo o Estado de São Paulo ser o segundo estado brasileiro na ordem de porcentagem de ocupação do solo por uso agrícola, ficando atrás apenas para o Estado do Paraná (55,33%) (IBGE, 2002). Desse modo, São Paulo mostra-se como um estado amplamente agrícola, além do uso do solo ser antigo e intenso, que suportou diversos ciclos de culturas que marcaram épocas.

A necessidade crescente da produção de alimentos do país para consumo interno e a abertura de promissores mercados externos para escoar a produção agrícola, suportada por discursos políticos incentivadores, está ocasionando a superutilização e o uso

incorreto do solo em grande parte do estado, especialmente onde são cultivadas culturas anuais, que em determinada época do ano mantêm o solo exposto. Se esta época coincide com as mais intensas chuvas, os estragos ocasionados pela erosão são maiores devido à ausência de cobertura vegetal (Goldman et al., 1986; Lepsch, 1993; Silva, 2002). Esta crescente demanda da produção agrícola tem concorrido grandemente para acelerar os processos de erosão dos solos, resultando na alteração da qualidade da água e assoreamento de rios e reservatórios (Valério Filho, 1994) e sendo esta a principal causa do depauperamento acelerado das terras (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Como o fenômeno da erosão está intimamente ligado à queda da produtividade agrícola, muitos

trabalhos concentram-se na compreensão do fenômeno ou ainda no desenvolvimento de técnicas de recuperação do potencial produtivo, em função do processo erosivo (Silva et al., 2003). Assim, medidas de controle e planejamento para o uso adequado das terras são necessárias, como a aplicação de modelos matemáticos que predizem a perda de solo de uma determinada área em função dos fatores que representam o clima, o solo, a topografia e o uso da terra.

Dentre os modelos mais utilizados para estimar as perdas de solo de uma determinada área, encontra-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (Wischmeier & Smith, 1978) (Equação 1), pois exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica, trata o assunto de modo mais dinâmico, por superar parcialmente restrições climáticas e geográficas, e ter aplicação generalizada (Silva et al., 2003).

A EUPS foi apresentada por Wischmeier & Smith (1978) e é expressa em função de seis variáveis, sendo quatro (R, K, L, S) de condições naturais e duas (C, P) de condições antrópicas. A equação é:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1),$$

onde A = perda de solo por unidade de área (em t.ha⁻¹.ano⁻¹); R = fator erosividade da chuva (em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹); K = fator erodibilidade do solo (em t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹); L = fator comprimento de rampa; S = fator declividade; C = fator cobertura do solo e manejo; P = fator prática conservacionista, sendo os quatro últimos fatores adimensionais.

Segundo Ranieri (1996), a EUPS pode ser aplicada para as seguintes finalidades: (1) previsão de perdas anuais médias de solo de uma área sujeita a determinadas práticas de utilização, (2) orientação na seleção de áreas de cultivo, de manejo e conservação, (3) previsão de alterações nas perdas de solo ocasionadas por mudanças nas práticas de cultivo e conservação, (4) determinação de modos de aplicação ou alteração das práticas agrícolas que permitam usos mais intensivos da terra, (5) estimativas das perdas de solo para usos distintos na agricultura, e (6) estimativa das perdas de solo visando à determinação de práticas conservacionistas.

Aplicada em muitas áreas do Estado de São Paulo (Bueno, 1994; Valério Filho, 1994; Garcia & Zaine, 1996; Fiorio, 1998; Sparovek, 1998; Burin, 1999; Cerri, 1999; Weill, 1999; Ranieri, 1996 e 2000; Moretti, 2001; Ferraz, 2002; Fujihara, 2002; Marcondes et al., 2002, entre outros), com áreas variando desde microbacias até bacias hidrográficas de mesoescala, a EUPS tornou-se um instrumento valioso para os trabalhos de conservação do solo, fornecendo subsídios para estudos e propostas de planejamento do uso sustentável do solo.

Porém, os fatores da EUPS, dentre eles a erodibilidade, são determinados separadamente e de difícil quantificação, seja pelo método de determinação ser demasiadamente moroso e envolvendo alto custo, seja pela ausência de informações básicas necessárias. Representada pelo fator K, a erodibilidade pode ser definida como o fator que exprime numericamente a suscetibilidade de um determinado solo sofrer erosão, tendo seu valor delimitado entre 0 e 1 (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Devido às características e propriedades inerentes que são conferidas para cada solo, principalmente as de ordens físicas e químicas, a erodibilidade se expressa de maneira diferente para cada tipo de solo, pois alguns são mais facilmente erodíveis que outros, mesmo quando são mantidos constantes os outros fatores relacionados com a erosão, como a erosividade, as características topográficas, a cobertura do solo e as práticas de manejo (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

As propriedades físicas exercem diferentes influências na resistência do solo contra a erosão, principalmente a estrutura, que é o modo como se arranjam as partículas, a textura, que compreende o agrupamento das partículas em classes conforme o tamanho, a taxa de infiltração, a permeabilidade, a densidade e a porosidade (Silva et al., 2003), sendo a capacidade de infiltração e a estabilidade estrutural, as características físicas mais expressivas e que estão intimamente relacionadas com a erodibilidade (Brady & Weil, 2002). Quanto às características químicas, o conteúdo de matéria orgânica é o mais importante, porém sua relação é mais significativa para solos de textura mais arenosa (Wischmeier & Mannering, 1969; Angulo et al., 1984).

A metodologia inicialmente proposta para a quantificação deste índice (fator K), além de seu alto custo, demanda muito tempo até que sejam obtidos dados definitivos sobre unidades específicas do solo (Silva et al., 2003). Há basicamente três métodos pelos quais se pode determinar a erodibilidade do solo. O primeiro e o segundo método, considerados métodos diretos, baseiam-se na relação entre as perdas de solo e o fator erosividade das chuvas, avaliados em parcelas de dimensões padronizadas, sendo o primeiro sob condições de chuva natural e o segundo sob condições de chuvas artificiais ou simuladas. O terceiro método (indireto) estima a erodibilidade utilizando equações matemáticas elaboradas que contemplam parâmetros relativos sobre a física e química dos solos. Estas equações são desenvolvidas, geralmente, por meio de regressões múltiplas entre o fator K medido diretamente no campo e as características do solo, quando representam boa correlação, podendo, assim, fornecer o fator da erodibilidade do solo para uso na EUPS (Marques et al., 1997). Este método é representado pelo nomó-

grafo (Wischmeier & Smith, 1978) ou ainda pelo modelo proposto por Denardin (1990), ambos baseados em características físicas e químicas de cada solo.

Contudo, mesmo com a relativa facilidade promovida por estes métodos indiretos, há escassez ou acesso limitado aos dados de erodibilidade dos solos brasileiros, entre eles os paulistas, dificultando estudos que complementariam o conhecimento do fenômeno da erosão para o Estado de São Paulo e forneceriam subsídios para um programa mais eficaz de planejamento de uso da terra. Lombardi Neto & Bertoni (1975) estudaram o índice de erodibilidade de 66 perfis de solos paulistas com horizonte "B" Latossólico ou Textural. Desde então muitos outros trabalhos têm sido realizados no sentido de levantar informações sobre a erodibilidade dos solos e também um novo mapa pedológico do estado foi elaborado (Oliveira et al., 1999).

Muitas destas informações estão dispersas e a obtenção destas torna-se, não raramente, dificultada por parte do usuário, havendo a necessidade da elaboração de um banco de dados, que contemple o valor

da erodibilidade para os diversos solos e possibilite a aplicação facilitada destas informações no cômputo das perdas de solos através do uso da EUPS ou algum outro modelo matemático que faça uso desta informação (erodibilidade).

Neste contexto, objetivou-se aqui realizar o levantamento de informações contidas em diversos trabalhos realizados no estudo da erosão e planejamento do uso do solo e, ainda, elaborar um banco de dados sobre a erodibilidade para as classes de solos ocorrentes no Estado de São Paulo.

Desta forma, almejou-se aqui apresentar e discutir uma versão sintética do banco de dados gerado para as classes de solo ocorrentes no Estado de São Paulo. Os autores entendem que a apresentação do banco de dados na sua forma completa no presente trabalho seria impraticável devido à grande quantidade de informações. Sendo assim, caso seja de interesse do leitor a aquisição de uma versão eletrônica e completa deste banco de dados, basta entrar em contato com os autores.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, o Estado de São Paulo, localiza-se na região Sudeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas 19°46' e 25°18' de latitude sul e 44°06' e 53°04' de longitude oeste. Possui uma área de 248.173 km² (www.ibge.gov.br) e uma população de 37.035.456 habitantes, segundo o censo de 2000 do IBGE (www.ibge.gov.br). Isto corresponde a 2,9% do território brasileiro e 21,8% da população brasileira.

A maior parte do Estado de São Paulo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e o restante da área está inserido na Bacia do Atlântico, trechos Leste e Sudeste (ANEEL, 2000). A temperatura média anual, segundo Nimer (1979), apresenta-se com duas áreas de índices elevados: o vale do Paraná e o litoral. No interior, a influência da latitude permite uma sensível queda da temperatura de norte para sul: enquanto no norte do estado é 22°C, no limite de São Paulo-Paraná é 20°C. Ao longo de todo litoral paulista, observa-se uma temperatura média anual de 22°C (Nimer, 1979). Quanto ao regime de chuvas, destaca-se uma região mais chuvosa que acompanha o litoral e a Serra do Mar, chegando a média anual a superar os 2.000 mm na Serra da Mantiqueira e Serra do Mar, enquanto que em quase todo interior do território paulista a média anual apresenta-se entre 1.000 a 1.250 mm (Nimer, 1979). Desta forma o clima do estado é classificado como tropical atlântico no litoral e tropical de altitude no interior.

Quanto ao poder erosivo das chuvas (erosividade), segundo o mapa apresentado por Vieira & Lombardi Neto (1999), esta tem sua variação principal (valores

anuais) de sudoeste para nordeste, porém apresentando baixos valores também na porção oeste do estado. O menor valor anual é aproximadamente 4.270 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ e o maior valor anual é 10.670 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Silva, 2004).

A estrutura geológica do estado divide-se em duas unidades distintas, o embasamento cristalino e a Bacia Sedimentar do Paraná. O primeiro encontra-se na região costeira do estado, que se estende da Serra de Paranapiacaba (sul do estado) até a Serra da Mantiqueira (leste do estado), enquanto que o segundo cobre a outra parte do estado, a Bacia Sedimentar do Paraná (IPT, 1981).

O embasamento cristalino é constituído de duas unidades litoestratigráficas. A primeira compreende rochas metamórficas e ígneas antigas do Pré-Cambriano, sendo a segunda compreende as coberturas cenozóicas, representadas nas bacias sedimentares de São Paulo e de Taubaté, e nos depósitos costeiros. A Bacia Sedimentar do Paraná compreende principalmente arenitos e derrames basálticos, com ocorrências localizadas de siltitos e argilitos, dividindo-se nos Grupos Bauru, São Bento, Passa Dois, Tubarão e Paraná (Petri & Fúlfaro, 1983).

No contexto geomorfológico, o estado divide-se em províncias que retratam os agrupamentos de rochas formadas em diferentes ciclos de tempo geológico, desde o Pré-Cambriano até o Cenozóico. São cinco as províncias geomorfológicas: (1) Planalto Atlântico – regiões de terras altas com grande variação topográfica

fica, ocorrendo na região litorânea montanhosa do estado, desde a Serra de Paranapiacaba (sul do estado) até a Serra da Mantiqueira (leste do estado); (2) Província Costeira – áreas drenadas diretamente para o mar; (3) Depressão Periférica – faixa deprimida entre as Cuestas Basálticas e o Planalto Atlântico, com relevo bastante alternado, de colinas, com trechos de entalhamento mais profundos de drenagem; (4) Cuestas Basálticas – faixa com relevo escarpado sustentada pelos derrames da Bacia Sedimentar do Paraná e suavemente inclinadas para o interior; (5) Planalto Ocidental – área de relevos suavemente ondulados de

colinas e morros com encostas suavizados (Ross & Moroz, 1997).

Ao longo da área de estudo ocorrem dez classes de solo (Figura 1). A classe de maior ocorrência é a dos Argissolos, seguida dos Latossolos, sendo que estas duas grandes classes correspondem a mais de 80% de todo o território do estado. Os Cambissolos ocorrem em 7,8% da área e os Neossolos ocorrem em pouco mais de 3%. Os demais ocorrem em pequenas proporções (menos de 1,5% cada classe) (Oliveira et al., 1999). Informações detalhadas sobre cada uma destas classes de solo são encontradas em Oliveira et al. (1999).

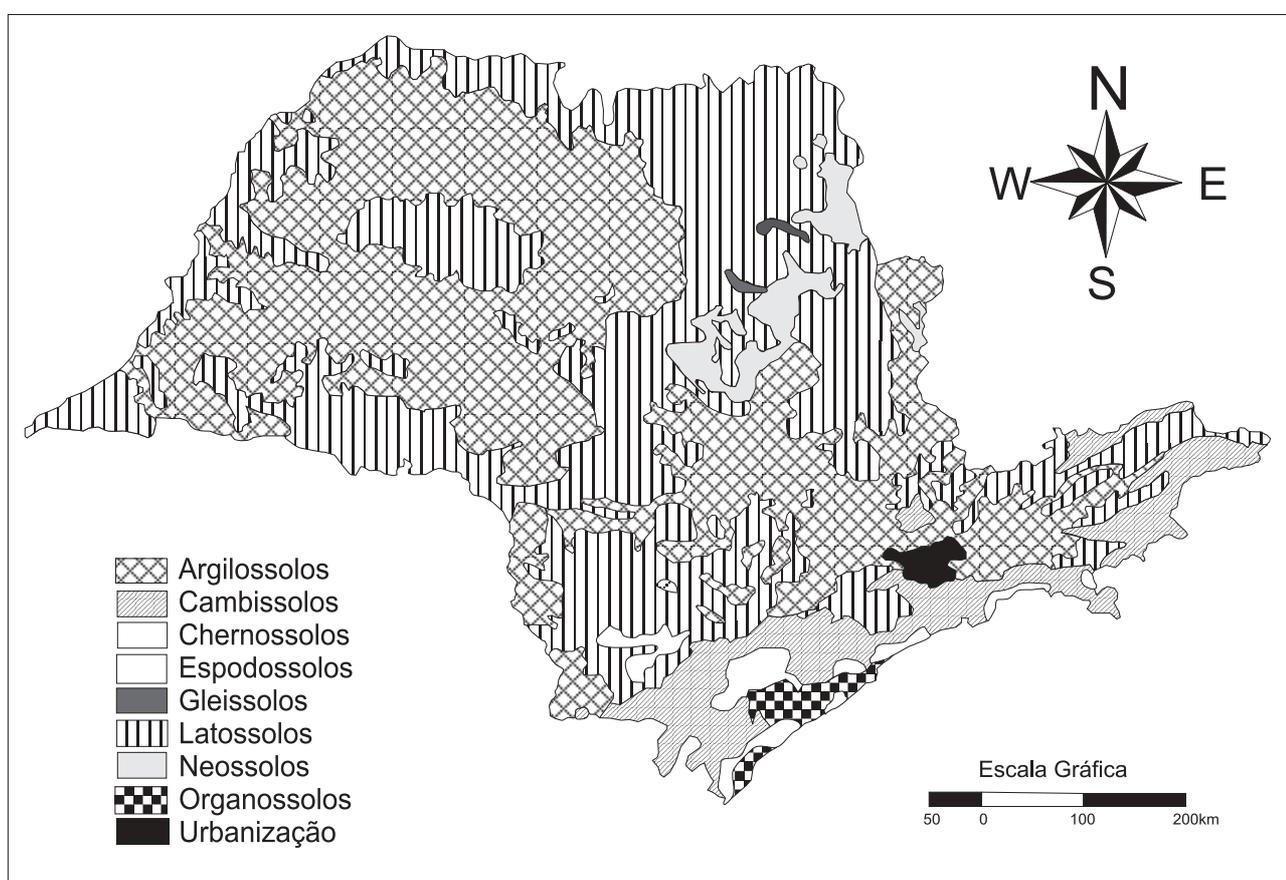


FIGURA 1. Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Fonte: Oliveira et al. (1999).

A vegetação original do Estado de São Paulo é formada por cinco grandes grupos de vegetação: (1) Floresta Ombrófila Densa – ocorrente na região litorânea e parte da porção leste do estado – correspondente à Mata Atlântica; (2) Floresta Ombrófila Mista – ocorrente em porções localizadas na parte sul do estado, na divisa com o estado do Paraná; (3) Floresta Estacional Semidecidual – ocorre em man-

chas na parte centro-leste e numa grande mancha na parte oriental do estado; (4) Savana (ou Cerrado) – ocorrente na porção central do estado numa faixa que se estende do extremo nordeste ao sudoeste; (5) Zona de Contato entre as Formações – ocorre em faixas ou manchas em zonas de contato entre as formações da Floresta Ombrófila Densa com a Savana e com a Floresta Ombrófila Mista e da Floresta

Estacional Semidecidual com a Savana (IBGE, 1993).

Quanto ao uso da terra, a principal classe de cobertura do solo é a pastagem, embora as culturas perenes e temporárias apareçam em proporções significativas conforme a região do estado. É também notável a porção de terra já considerada urbanizada, o que corresponde a quase 2% de todo o estado

(www.biota.org.br). Um fato notável ao longo do Estado de São Paulo é a indisciplina de uso do solo e não respeito às limitações naturais da paisagem (capacidade de uso). Tal fato tem resultado, desde longa data, em vários impactos ambientais, sendo a erosão dos solos um dos mais importantes (Bertoni & Lombardi Neto, 1999; Brannstrom & Oliveira, 2000).

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido através de uma vasta revisão bibliográfica, a qual compreendeu a consulta de diversas fontes impressas e eletrônicas. A área de trabalho, bem como as classes de solos que ocorrem nesta área, foram identificadas conforme o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira et al., 1999), o qual já se encontrava em formato digital e já compreende o novo sistema brasileiro de classificação de solos elaborado pela EMBRAPA (1999).

Na consulta, as seguintes informações foram observadas: valor de K, método utilizado para determinação da erodibilidade, localização geográfica do

ponto e unidade utilizada pelo autor do trabalho original. Isto permitiu a elaboração de um banco de dados, o qual foi paulatinamente compilado.

Uma vez finalizado este banco de informações, buscou-se a determinação dos valores médios (médias aritméticas) e da variabilidade dos dados (determinados através do cálculo do desvio padrão), conforme o número de ocorrências.

Finalmente, comparou-se os valores obtidos com a tabela de interpretação de valores de erodibilidade citados por Carvalho (1994), visando o enquadramento dos valores e posterior discussão a respeito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados foram extraídos de um total de treze trabalhos e um comentário pessoal é mostrado de forma sintética na Tabela 1. Dentre as dez classes de solo ocorrentes segundo o mapa pedológico do estado (Oliveira et al., 1999), a classe que apresentou maior massa de informações foi a dos Argissolos, com quarenta e um valores encontrados, seguido pelo Latossolo com trinta e duas ocorrências,

Neossolos com vinte e seis, Cambissolos e Nitossolos com sete, Gleissolos com seis; Planossolos, Espodosolos e Chernossolos com quatro ocorrências cada classe e finalmente Organossolos com somente três ocorrências.

Houve uma relação significativa entre o número de valores encontrados e a porcentagem de ocorrência de cada classe ($r^2 = 0,88$, para $n = 10$). A classe que

TABELA 1. Valores de erodibilidade conforme a classe de solo.

Classes	Área Total (km ²)	% Área Total	Valores de K (t.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)			Fontes
			média	D.P. *	n **	
Argissolos	103.540,44	41,721	0,0425	0,01990	41	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 e 12
Cambissolos	19.258,25	7,760	0,0508	0,0182	7	3,7,8 e 11
Chernossolos	96,79	0,039	0,0309	0,0104	4	7, 14
Espodosolos	1.997,80	0,805	0,0592	0,0248	4	9, 14
Gleissolos	2.883,77	1,162	0,0361	0,0279	6	4,7,8 e 9
Latossolos	99.738,42	40,189	0,0162	0,0043	32	3,4,5,6,7,9,10, 12 e 13
Neossolos	8.633,95	3,479	0,0351	0,0127	26	3,6,7,9,10,11 e 12
Nitossolos	2.275,75	0,917	0,0237	0,0091	7	6,7,8,9 e 13
Organossolos	2.337,79	0,942	0,0610	0,0124	3	9
Planossolos	344,96	0,139	0,0097	0,0134	4	7, 14
Rios	2.429,62	0,979				
Urbanização	4.640,84	1,870				
Total	248.173,44	100,00			134	

* D.P.= Desvio Padrão ** n = n° de valores

Fontes: 1 - Carvalho et al. (1989), 2 - Carvalho et al. (1997), 3 - Moretti (2001), 4 - Hamada et al. (1995), 5 - Lombardi Neto et al. (1995), 6 - Bueno (1994), 7 - MMA (1997), 8 - Fiorio (1998), 9 - Cerri (1999), 10 - Marcondes et al. (2002), 11 - Ranieri (2000), 12 - Fujihara (2002) e 13 - Burin (1999). 14 - Francisco Lombardi Neto (comunicação pessoal) (2004).

mais despertou a atenção foi o Neossolo, a qual ocorre em somente 3,479% da área total, porém apresentou vinte e seis valores de erodibilidade. Isto, de certo modo, mostra a atenção que vem sendo dada a cada classe de solo e principalmente ao Neossolo, pois se trata de uma classe que é normalmente associada a altas declividades (especialmente o Neossolo Litólico), favorecendo de forma expressiva o processo erosivo (Oliveira, 1999).

Uma classe, para a qual foi particularmente difícil a obtenção de informações, foi a dos Organossolos. Segundo Oliveira (1999), os Organossolos ocorrem todos em planícies aluviais, com ambiente palustre, possuem densidade aparente muito baixa e elevada porosidade e capacidade de retenção de água. Devido ao fato destes solos ocorrerem exclusivamente em regiões planas, estima-se que seu potencial à erosão seja baixo, isto é, o relevo não favorece o processo erosivo. Contudo, sua erodibilidade foi considerada alta e isto poderia ser devido à características peculiares desta classe de solo, o que o deixaria suscetível também a outros tipos de avarias, tais como deslizamentos (e não necessariamente erosão), caso ocorressem em relevo movimentado. Uma das possíveis razões, que pode ser a causa da pouca quantidade de informação sobre erodibilidade existente para esta classe de solo, é sua normal toxicidade (Oliveira, 1999), o que sugere que sejam pouco procurados para fins agrícolas e, portanto, pouco estudados em relação ao processo erosivo. A ocorrência em ambiente alagadiço também pode ser um entrave adicional que limita o uso desta classe de solo.

Conforme a Tabela 1 verifica-se que o maior valor de K foi apresentado pela classe dos Organossolos ($0,061 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), enquanto que o menor valor foi observado para os Planossolos ($0,0097 \text{ t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$). A tabela de interpretação de erodibilidade, citada por Carvalho (1994) e convertida para o Sistema Internacional de unidades, conforme Foster et al. (1981) (Tabela 2), indica que das dez classes, sete possuem erodibilidade considerada alta, duas possuem erodibilidade considerada média e uma possui erodibilidade considerada baixa.

TABELA 2. Classes de valores e suas respectivas interpretações para a erodibilidade dos solos.

Limites de valores ($\text{t.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$)	Classe de interpretação
<0,01529	Erodibilidade baixa
0,01529-0,03058	Erodibilidade média
>0,03058	Erodibilidade alta

Fonte: Carvalho (1994), convertido para o SI conforme Foster et al. (1981).

Considerando ainda a análise da Tabela 1, deve-se frisar que os valores apresentados são valores médios (médias aritméticas de todos os valores obtidos para cada classe) e que, conforme visto no banco de dados, há uma variação de valores para cada uma das classes de solo. Por exemplo, para os Argissolos, de todos os valores encontrados na literatura, 78% são considerados de alta erodibilidade, 22% de média erodibilidade e nenhum valor de baixa erodibilidade, sendo que o valor médio foi então enquadrado na classe de erodibilidade alta. Para os Cambissolos, 85,7% de todos os valores enquadraram-se na classe alta, 14,3% na classe média, nenhum na classe baixa, e o valor médio foi enquadrado como de alta erodibilidade. Os Chernossolos ficaram com 50% dos valores enquadrados como alta erodibilidade e 50% como média, apresentando um valor resultante interpretado como de alta erodibilidade. Os Espodossolos apresentaram 100% dos valores como alta erodibilidade.

Já os Gleissolos apresentaram valores interessantes: 33,3% sendo considerados de baixa erodibilidade e 66,7% de alta, resultando num valor médio interpretado como de média erodibilidade. Para os Latossolos verificou-se que 40,6% de todos os valores foram interpretados como baixa, 56,3% dos valores foram interpretados como média e 3,1% interpretados como alta, resultando num valor médio interpretado como de média erodibilidade. Os Neossolos apresentaram 3,8% dos valores interpretados como baixa erodibilidade, 38,5% interpretados como média e sua principal concentração de valores foi a classe alta, com 57,7% dos valores, resultando num valor médio interpretado como alta erodibilidade. Os Nitossolos tiveram a maioria dos valores do fator K (71,4%) enquadrados na classe média e 28,6% enquadrados na classe alta, resultando num valor interpretado como de média erodibilidade. Por sua vez, os Organossolos tiveram 100,0% dos seus valores ocorrentes em uma única classe (classe alta). Para os Planossolos, 75,0% dos seus valores ocorreram na classe baixa e 25% na classe média, resultando num valor médio interpretado como de baixa erodibilidade.

Tal variabilidade dos dados pode ter ocorrido por razões diversas, tais como: diferenças nos métodos de investigação, tempo de realização do eventual experimento ou, talvez a principal causa, a variabilidade espacial das características físicas e químicas para cada classe de solo, devido ao resultado da combinação dos fatores climatológicos, geológicos, topográficos e de cobertura vegetal, o que pode conferir certa peculiaridade física e/ou química e, portanto, um valor do fator K específico para aquela classe de solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1999; Silva et al., 2003).

Tais resultados evidenciam que os solos do estado de São Paulo são, na sua maioria, altamente erodíveis,

pois a classe “erodibilidade alta” ocorre num valor aproximado de 57,55% ao longo de toda a área do estado. Da área restante, quase a metade possui uma erodibilidade média (em torno de 42,31%) e 0,14% possui erodibilidade baixa.

Foi observado que a espacialização da erodibilidade dos solos ao longo do Estado de São Paulo acompanhou com certa fidelidade alguns dos traçados mais expressivos vistos nos mapas geológico (IPT, 1981) e geomorfológico (Ross & Moroz, 1997). Quanto ao mapa geológico, verificou-se que na porção centro-ocidental do estado, a qual possui na sua franca maioria um embasamento geológico de natureza sedimentar com rochas pertencentes ao grupo Bauru, ocorreram solos com erodibilidade alta, isto muito provavelmente devido à natureza textural dos solos, a qual é predominantemente arenosa. Ocorreram ainda solos de alta erodibilidade em manchas significativas na porção oriental do estado, estas em áreas com embasamento geológico cristalino, o qual é compreendido por rochas cristalinas pré-cambrianas, representadas por uma ampla variedade de granitos e gnaisses, entre outras rochas, além de uma grande quantidade de corpos de rochas granitóides de dimensões variadas. Nesta mesma região do estado há ainda a ocorrência de rochas sedimentares pertencentes às coberturas cenozóicas representadas nas Bacias Sedimentares de São Paulo e de Taubaté, e sedimentos costeiros (Petri & Fúlfaro, 1983).

Destaca-se a larga ocorrência de solos interpretados como erodibilidade média na porção central do estado, numa faixa que ocorre desde a região nordeste até o extremo sul. Praticamente toda esta faixa possui como embasamento geológico rochas sedimentares, porém estas pertencem ao Grupo São Bento. Segundo Petri & Fúlfaro (1983), esta unidade é constituída por duas principais unidades de rochas: a primeira denominada Formação Serra Geral, a qual é formada por rochas ígneas com intercalações de arenitos; a segunda, de nome variável conforme suas características (Botucatu, Pirambóia ou Rosário do Sul), é formada principalmente por arenitos finos/médios e arenitos/siltitos argilosos muito finos, com estratificações cruzadas, o que pode resultar em solos estruturalmente coesos, com fraca destacabilidade das partículas e, portanto, com uma erodibilidade reduzida.

Outra característica importante da erodibilidade do solo é a sua variação sazonal. Praticamente todos os estudos concentram-se em determinar a erodibilidade para valores médios anuais, tal como é requerida na EUPS; porém, alguns estudos determinaram a variação sazonal da erodibilidade, possibilitando um estudo sazonal mais minucioso da erosão. Por exemplo, Amon (1994) determinou a variação sazonal da erodibilidade para dois solos, sendo um Latossolo Roxo

distrófico situado em Campinas e um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico localizado em Mococa. A erodibilidade média anual para os solos estudados foi de 0,0113 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ para o Latossolo e de 0,0221 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ para o Podzólico.

Quanto à oscilação dos valores, para o Latossolo o mês de março apresentou o menor valor (0,0069 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹), enquanto que no mês de outubro a erodibilidade atingiu o maior valor (0,0229 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹). Já para o Podzólico a erodibilidade foi menor no mês de fevereiro (0,0145 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) e no mês de julho a erodibilidade atingiu seu maior valor, 0,0524 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹.

A amplitude dos valores da erodibilidade durante o ano foi de 0,016 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ para Latossolo e de 0,0379 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ para o Podzólico. Verifica-se, assim, que o comportamento da variação sazonal da erodibilidade é diferenciada para solos com horizonte B latossólico e solos com B textural e que os valores do fator K estudados foram maiores na estação mais seca do ano (Amon, 1994).

Deste modo, a erodibilidade do solo pode ser compreendida como uma variável de magnitude espaço-temporal. Espacial porque sua variação é conferida quanto à sua localização geográfica e inerente ao material de origem, e temporal, pois é uma variável estacional. Recomenda-se então, quando possível, elaborarem-se dois planos de informação para estudos de erosão. Estes planos de informação seriam ambos baseados em um único mapa de solos, porém haveria dois bancos de dados sobre erodibilidade: um para a estação seca e outro para a estação chuvosa, resultando assim num estudo mais detalhado e enriquecido do processo erosivo de uma dada região.

É importante frisar que este trabalho, embora buscase obter o maior número possível de publicações sobre o assunto, não esgotou a possibilidade de ainda haver trabalhos que não foram aqui citados, uma vez que foi notado um volume expressivo de trabalhos pontuais e que possuem certa dificuldade de serem localizados via pesquisa bibliográfica eletrônica, o principal sistema de busca aqui utilizado. Faz-se aqui uma recomendação de uma consulta ao banco de dados elaborados pelos autores para a localização e utilização de dados os mais precisos possíveis conforme o tipo de solo por parte de eventuais usuários. Os dados aqui foram apresentados de forma genérica (valores médios) no intuito de discutir-se a erodibilidade quanto a sua variação espacial e outros fatores atuantes, mais marcadamente o relevo e o embasamento geológico.

Por outro lado, há ainda uma grande lacuna de conhecimento a ser preenchida sobre a erodibilidade dos solos paulistas. Isto porque para algumas classes de solo, os valores de erodibilidade foram encontrados com raridade e necessitou-se consultar trabalhos con-

tendo informações de solos situados fora do estado, tais como o banco de dados mencionado em MMA (1997), que se refere às classes de solos ocorrentes na alta bacia do Rio Paraguai.

Assim como mencionado em Lombardi Neto & Bertoni (1975), a erodibilidade de cada solo é um dos indicadores do tipo de manejo que o solo requer. Infelizmente, vem sendo facilmente comprovado que, na maior parte dos casos, os solos paulistas vêm sendo manejados de forma incorreta e ineficaz, o que vem acarretando altas taxas de perda de solo e com várias conseqüências, conforme reportado, por exemplo, por

Brannstrom & Oliveira (2000). Estes autores analisaram a forte alteração da geometria do canal que alguns cursos d'água localizados na porção centro-oeste do estado vinham sofrendo em função do recebimento de altas quantidades de sedimentos decorrentes de erosão a qual, por sua vez, era decorrente do mau uso da terra. Isto mostra, então, que a combinação da erodibilidade com os demais fatores ambientais e antrópicos resulta numa maior ou menor susceptibilidade ao processo erosivo e que ela pode ser agravada conforme as características ambientais, mas principalmente, pelo tipo de manejo que é dado ao solo em questão.

CONCLUSÕES

Considerando as classes de solos ocorrentes no Estado de São Paulo e todo o volume de informações levantado, conclui-se que a dos Argissolos é a classe mais amplamente estudada sob o ponto de vista da erodibilidade. Por outro lado, a dos Organossolos é a menos estudada.

Os solos que ocorrem no Estado de São Paulo são, em sua maioria (cerca de 57%), considerados de erodibilidade alta.

Há uma forte relação espacial entre a erodibilidade e o embasamento geológico, e entre esta e a

região geomorfológica para os solos do estado de São Paulo. Os valores do fator K (médias) oscilaram entre 0,0097 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ para os solos da classe Planossolos e 0,0610 t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ para os solos da classe Organossolos.

Desta forma, verifica-se a necessidade de estudos complementares a fim de poder-se levantar uma quantidade maior de informações sobre a erodibilidade, especialmente para aquelas classes de solo que tiveram pouca quantidade de informações, destacando-se os Planossolos, Organossolos, Espodossolos e Chernossolos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMON, R.S. **Variação da erodibilidade do solo durante o ano**. Piracicaba, 1994. 46 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
2. ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – HIDROGEO**. Brasília: ANEEL. CD-ROM, 2000.
3. ANGULO, R.J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M.L.P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n. 1, p. 133-138, 1984.
4. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 4a. ed., 1999, 355 p.
5. BRADY, N.C. & WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. Prentice Hall, 13th ed., 2002, 960 p.
6. BRANNSTROM, C. & OLIVEIRA, A.M.S. Human modification of stream valleys in the western plateau of São Paulo, Brazil: implications for environmental narratives and management. **Land Degradation & Development**, v. 11, p. 535-548, 2000.
7. BUENO, C.R.P. **Zoneamento da suscetibilidade à erosão dos solos da Alta e Média Bacia do Rio Jacaré-Pepira, com vistas ao planejamento ambiental**. Rio Claro, 1994. 137 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
8. BURIN, R.H. **Avaliação temporal de perdas de solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Preto (SP) utilizando geoprocessamento**. Rio Claro, 1999. 135 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
9. CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), 1994, 372 p.
10. CERRI, C.E.P. **Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da Bacia do Rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento**. Piracicaba, 1999. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
11. DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, 1990. 114 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
12. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999, 412 p.
13. FERRAZ, F.F.B. **Dinâmica dos sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Piracicaba**. Piracicaba, 2002. 112 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo.
14. FIORIO, P.R. **Avaliação cronológica do uso da terra e seu impacto no ambiente da microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da região de Piracicaba, SP**. Piracicaba, 1998. 114 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

15. FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.
16. FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. Piracicaba, 2002. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
17. GARCIA, J.G. & ZAINÉ, M.F. Modelagem de cenários agrícolas a partir de estimativas de perda de solos por erosão. **Geociências**, v. 15, n. 2, p. 345-354, 1996.
18. GOLDMAN, S.J.; JACKSON, K.; BURSZTYNSKY, T.A. **Erosion and sediment control handbook**. McGraw-Hill, 1986, 454 p.
19. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil, 1:5.000.000**. Brasília: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1993. (www.ibge.gov.br).
20. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Brasília: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Série Estudos e Pesquisa, Informação Geográfica, 2002, n. 2, 195 p. (www.ibge.gov.br).
21. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000**. São Paulo: IPT, 1981.
22. LEPSCH, I. **Solos – formação e conservação**. São Paulo: Melhoramentos, 1993, 5a. ed., 157 p.
23. LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Índice de erodibilidade de solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, 1975, n. 27, 12 p.
24. MARCONDES, D.A.S.; VEIGA, R.A.A.; CARVALHO, C.M.; SAID, L.A.; CHAIN, M.G. **Controle de erosão e assoreamento na área de influência do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta – Planejamento Ambiental – Microbacia do Ribeirão Caiuá**. São Paulo: CESP – COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, Série Divulgação e Informação, 2002, n. 248, 85 p.
25. MARQUES, J.J.G.S.M.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; CAROLINO DE SÁ, M.A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 447-456, 1997.
26. MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai**. Brasília: MMA, 1997, v. 2, tomo 2-A, Sedimentologia, 394 p.
27. MORETTI, L.R. **Avaliação da erosão superficial em pequenas bacias hidrográficas rurais**. São Paulo, 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
28. NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Brasília: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1979, n. 4, 422 p.
29. OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Científico, 1999, n. 45, 112 p.
30. OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Legenda Expandida. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas; Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos, 1999, 64 p.
31. PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: TA Queiroz/Editora da USP, 1983, 631 p.
32. RANIERI, S.B.L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para a determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. São Carlos, 1996. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
33. RANIERI, S.B.L. **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no Município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLE e WEPP**. Piracicaba, 2000. 99 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
34. ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), 1:500.000, 1997.
35. SILVA, A.M. Redução do desprendimento das partículas do solo mediante uso de resíduos vegetais de origem urbana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 531-534, 2002.
36. SILVA, A.M. Rainfall erosion map for Brazil. **Catena**, 2004. (no prelo).
37. SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Editora Rima, 2003, 138 p.
38. SPAROVEK, R.B.M. **Estimativa da erosão em sulcos e entre sulcos na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro – Piracicaba (SP)**. Piracicaba, 1998. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
39. VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.V.; CRUZ, M.C.P. (Editores), **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV)/UNESP-Jaboticabal e Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1994, p. 223-242.
40. VIEIRA, R.S. & LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 4, p. 405-412, 1995.
41. WEILL, M.A.M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida**. Piracicaba, 1999. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
42. WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society American Proceedings**, v. 33, p. 131-137, 1969.
43. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. Science and Education Administration United States Department of Agriculture, Supersedes Agriculture Handbook, 1978, n. 282, 58 p.

