

AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDADE A POLUIÇÃO POR CARGA DIFUSA EM RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NAS BACIAS DOS RIOS MOGI-GUAÇU, PARDO E MÉDIO GRANDE.

Adriana Cavalieri¹, Gerson Araujo de Medeiros², Silvana Maria Franco Marghato³, Saul Rocha (in memorian)¹, Jansle Vieira Rocha³, Emília Hamada³

Resumo - O presente trabalho teve por objetivo apresentar os resultados de um estudo para identificar áreas susceptíveis à poluição por carga difusa, devido ao arraste de sedimentos, a partir de informações de clima, relevo, tipo e uso do solo. para as Bacias dos rios Mogi-Guaçu, Pardo e Médio Grande. Estas bacias estão localizadas na porção leste do Estado de São Paulo, e são consideradas áreas críticas pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos. A abordagem da Equação Universal de Perda de Solos foi utilizada para a identificação dessas áreas devido à disponibilidade de informações e à parametrização das componentes desta equação para as condições paulistas. O processamento das informações utilizadas foi realizado a partir da integração de planilhas de banco de dados relacional, confeccionados em Access 97, carta de solos e relevo digitalizadas por AutoCad, e imagens de satélite Landsat, todos integrados através de um Sistema de Informação Geográfica, onde foi possível gerar mapas georeferenciados a partir de operações entre os planos de informação levantados. Os bancos de dados e cartas gerados constituem uma integração preliminar das informações disponíveis sobre as bacias, dispersas em boletins e institutos de pesquisa. Estas informações ficam disponibilizadas de uma forma de fácil manipulação e que permite a sua rápida atualização e utilização em modelos de tomada de decisão que utilizem de Sistema de Informação Geográfica, a qual é uma ferramenta de uso crescente no planejamento de Recursos Hídricos.

1 - INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos hídricos, tanto no que se refere à quantidade como à qualidade, é um dos mais evidentes reflexos dos efeitos provocados pelo crescimento urbano, ocupação industrial e intensificação da atividade agrícola. Entre as fontes poluidoras destes recursos destaca-se a água e o solo perdidos pela erosão de terras agrícolas, onde são carreados nutrientes e defensivos, levando à eutrofização ou contaminação de rios, lagos, reservatórios e lençol freático.

Nos Estados Unidos, o prejuízo para a qualidade de água superficial devido ao arraste de sedimentos e nutrientes de terras agrícolas varia de 2,2 a 7 bilhões de dólares por ano (LOVEJOY et al., 1997). No Estado de São Paulo estima-se uma perda anual de 200 milhões de toneladas de solo (CANIL & RIDENTE JUNIOR, 1997), levando à proposição de programas de difusão de técnicas de manejo e conservação de solo, através da lei 7663/91, dentro da legislação relacionada ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

A tomada de decisão em recursos hídricos exige uma abordagem pluridisciplinar, embasada em levantamentos e estudos técnico-científicos, para que se possa ter um diagnóstico da situação. Devido ao alto requerimento de dados e à sua variabilidade espacial, tem sido crescente o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para operacionalizar a entrada de dados em modelos de tomada de decisão, e melhorar a visualização dos resultados através de mapas digitais georeferenciados. Contudo, a informação sobre as bacias muitas vezes não encontra-se disponível, seja por não haver dados levantados ou devidamente distribuídos espacialmente, seja pelas informações encontrarem-se dispersas em diferentes órgãos do governo, ou instituições de pesquisa. O problema de se sistematizar a informação aumenta de proporção em bacias de domínio Federal, devido ao acesso à informação e como ela está disponível.

A Fundação Pinhalense de Ensino, com a participação da Faculdade de Agronomia "Manoel Carlos Gonçalves", e a UNICAMP, através da Faculdade de Engenharia Agrícola, desenvolveram um projeto sobre caracterização do meio físico e identificação de áreas suscetíveis à erosão, e

¹ Faculdade de Agronomia "Manoel Carlos Gonçalves" (FAMCG), Fundação Pinhalense de Ensino Av. Hélio Vergueiro Leite, n.º 1; Caixa Postal 05; CEP 13.990-000; Espírito Santo do Pinhal, SP. Telefone/Fax: (019) 651-3579

² Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), UNICAMP, e FAMCG, Fundação Pinhalense de Ensino. Cidade Universitária "Zeferino Vaz" s/ n., Caixa Postal 6011, CEP 13.081-490, Campinas, SP, e-mail: gerson@agr.unicamp.br.

³ Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), UNICAMP

consequentemente de risco à poluição por carga de sedimentos, nas bacias dos Rios Mogi-Guaçu, Pardo e Médio Grande, financiado pela ABEAS (Associação Brasileira de Ensino Agrícola Superior).

O objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados obtidos no referido estudo, onde utilizou-se de técnicas como Sistema de Informação Geográfica, banco de dados relacional de solos e clima, e sensoriamento remoto. Estes resultados fornecem subsídios para a elaboração de políticas de uso, ocupação e manejo de solos visando a recuperação ou manutenção de padrões de qualidade de recursos hídricos.

2 - ÁREA DE ESTUDO

A região incorpora, total ou parcialmente, uma área de 92 municípios do Estado de São Paulo, correspondendo a uma área de aproximadamente 30.500 km² e uma população de 2.100.000 habitantes. Os rios Mogi Guaçu e Pardo têm suas cabeceiras no sudeste do Estado de Minas Gerais e seguem curso noroeste, adentrando o Estado de São Paulo. O Rio Mogi Guaçu, após percorrer aproximadamente 470 Km, deságua no Rio Pardo. Já o Rio Pardo, após 525 Km deságua no Rio Grande, divisa norte com o Estado de Minas Gerais. A bacia do Médio Grande é constituída por um conjunto de pequenos tributários do Rio Grande, situados entre as bacias dos rios Pardo e Turvo, completando um espaço contínuo com as bacias dos rios Mogi Guaçu e Pardo.

3 – METODOLOGIA

3.1 - Preparação dos planos de informação, cruzamento das informações e interpretação dos mapas.

Os planos de informação de entrada no Sistema de Informação Geográfica (SIG) foram: carta de solos, dados climáticos, carta topográfica, uso atual da área, limite dos municípios e rede de drenagem, digitalizados através do software AutoCAD

A carta de solos da área foi obtida a partir daquela publicada em CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960a). Na carta digitalizada, cada polígono correspondeu a uma unidade de mapeamento que podem ser unidades simples, complexos de solo ou grupamentos indiscriminados. Posteriormente, esta carta foi associada a um banco de dados criado no software Microsoft Access 97, e composto por informações sobre profundidade efetiva, capacidade de retenção da água, permeabilidade e drenagem interna; fertilidade; e possibilidade de motomecanização; erodibilidade e tolerância de perdas, para cada tipo de solo.

Estas informações pedológicas estavam contidas em CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960b), para o Estado de São Paulo, e foram agrupadas em unidades de informações comuns, criando-se para isto diversas tabelas informativas, as quais podem ser selecionadas a partir da escolha de um tipo de solo. Após a filtragem dos dados, realizada pelo Access, as informações são exportadas para o SIG, permitindo a visualização das características do solo em janelas de apresentação.

Os dados climáticos foram obtidos a partir dos postos meteorológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), localizados dentro e nas proximidades da área de estudo. Os dados levantados foram: localização geográfica, altitude, precipitação pluviométrica (médias mensais e anuais). Elaborou-se um banco de dados de clima, onde agrupou-se as informações climáticas da região em unidades de informações comuns, criando-se para isto diversas tabelas informativas, desenvolvidas e organizadas no Access 97.

As cartas topográficas de escala 1:250.000 geraram o modelo digital do terreno (MDT).

O uso atual da área foi analisado através de imagens de satélite Landsat TM (*Thematic Mapper*), canais 3, 4 e 5, obtidas em 11 de março e 10 de julho de 1997 e abrangendo a área de estudo. A correção geométrica das imagens, segundo o sistema de projeção cartográfica latitude-longitude, foi realizada no SIG. Adotou-se a transformação baseada em pontos de controle no terreno, cujas posições geográficas foram obtidas com o GPS (*Global Positioning System*). Posteriormente realizou-se a composição colorida das bandas e o mosaico, obtendo-se assim o mapa ou carta imagem de uso atual das terras e de cobertura vegetal da área de estudo.

Para a obtenção dos mapas de erosão atual e potencial foram realizadas operações matemáticas com os planos de informação envolvidos, através dos módulos de operação com imagens do SIG.

3.2 - Avaliação de áreas de risco potencial à erosão

Avaliou-se o risco potencial à erosão através da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978), e representada da seguinte forma:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

onde, A é a perda de solo ($t.ha^{-1}$); R é o fator relacionado à erosividade da chuva ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$); K é o fator erodibilidade do solo ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$); L é o fator comprimento de rampa (adimensional); S é o fator grau do declive (adimensional); C é o fator uso e manejo (adimensional); P é o fator práticas conservacionistas (adimensional)

O fator erosividade da chuva foi determinado através de metodologia proposta por LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992), onde a média mensal do índice de erosão (EI), cuja a somatória corresponde ao fator R, é calculada pela fórmula⁴:

$$EI = 89,823(r^2/P)^{0,759}$$

onde, EI é a média mensal do índice de erosão ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$); r é a precipitação média mensal (mm); P é a precipitação média anual (mm)

A erodibilidade foi calculada de forma indireta através de propriedades do solo, e de modelos ajustados para os solos do Brasil propostos por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975), DENARDIN (1990) e CAVALIERI (1994).

Os fatores comprimento de rampa e grau do declive (LS) foram calculados tomando-se como base a formulação citada em BERTONI & LOMBARDI NETO (1985), como segue:

$$LS = 0,00984C^{0,63}D^{1,18}$$

onde, LS é o fator topográfico; C é o comprimento de rampa (m); D é o grau do declive (%)

O fator C, que mede o efeito combinado dos diversos tipos de manejos possíveis e da proteção oferecida pelas culturas, é determinado mediante procedimento descrito em BERTONI & LOMBARDI NETO (1985).

Para o fator P são adotados valores diferentes, conforme a declividade, quando se considera o plantio em nível (LOMBARDI NETO⁵), sendo os demais valores extraídos de BERTONI & LOMBARDI NETO (1985).

A comparação entre as perdas por erosão atuais e as perdas toleráveis é realizada com base nos padrões de tolerância estabelecidos por BERTONI & LOMBARDI NETO (1985).

O potencial natural de erosão foi calculado por:

$$PNE = R.K.L.S$$

sendo que os valores obtidos foram reclassificados de acordo com a Tabela 1.

Os dados do PNE podem ser associados a valores de tolerância de perdas de solo, obtendo-se informações do CP tolerável ou permissível, que, combinados com CP atual (combinação do uso e manejo com práticas conservacionistas), geram valores de expectativa de erosão, que podem ser agrupados nas classes ausente, baixa, média e alta, conforme procedimento de DONZELI *et al.* (1992). Através desses valores obtidos podem ser determinados o uso e manejo mais adequados.

Classe	PNE ($t.ha^{-1}$)
Fraco	0 a 400
Moderado	400 a 800
Moderado a forte	800 a 1600
Forte	> 1600

Tabela 1 - Classificação dos limites de potencial natural de erosão (PNE). (VALÉRIO FILHO, 1994).

4. RESULTADOS

4.1 - Processamento dos dados climáticos

Os dados de precipitação foram interpolados no software SURFER 5.01 da *Golden Software*, obtendo-se superfícies de resposta. Os valores de temperatura média mensal e anual foram obtidos por equação proposta por PINTO *et al.* (1972) e também interpolados no SURFER

Com os dados de precipitação média mensal e anual foram determinados os índices de erosão mensal através de metodologia de LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992) (Figura 1). Os valores mais baixos de erosividade estão em torno de $5.400 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ e se encontram próximos ao rio Grande, no extremo oeste, e os valores mais altos estão próximos a $8300 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ e encontram-se em Minas Gerais. O plano de informação de erosividade da chuva foi gerado no SURFER e exportado para o SIG, para a determinação do potencial natural de erosão.

⁴ Informação pessoal do Dr. Francisco Lombardi Neto

⁵ Comunicação Pessoal

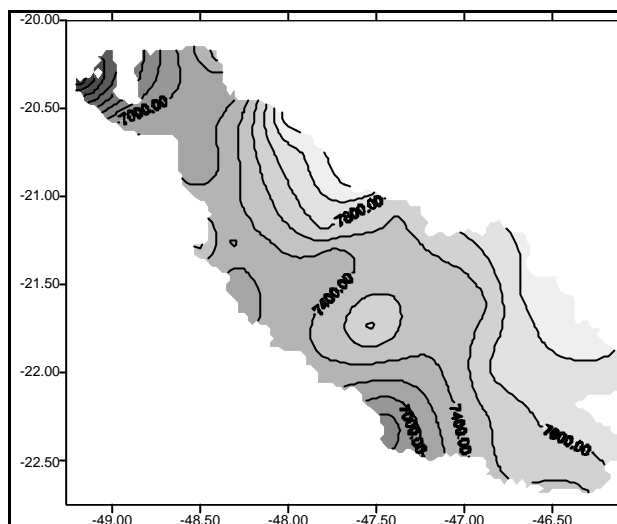


Figura 1 - Erosividade da chuva média calculada em $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para as bacias dos rios Mogi-Guaçu, Pardo e Médio Grande.

4.2 - Caracterização pedológica

Na carta de solos digitalizada e georeferenciada da área de estudo, cada tipo de solo foi identificado como um polígono e associado a um banco de dados para gerar as cartas subsequentes. A erodibilidade e a tolerância de perdas de solo são parâmetros utilizados na avaliação de risco potencial à erosão, e são obtidos a partir de propriedades do solo discriminadas em LOMBARDI NETO & BERTONI (1975). Os mapas de erodibilidade (Figura 2) e tolerância também foram obtidos da consulta ao banco de dados de solo e importada para o SIG. A visualização gráfica permite concluir que as áreas de maior erodibilidade (maior susceptibilidade do solo à erosão) se encontram na porção leste da área de estudo, em solos provenientes do complexo cristalino. Na região central da área de estudo a erodibilidade relativamente alta está associada as areias quartzosas, enquanto que na porção oeste, valores intermediários estão associados a latossolos de textura média.

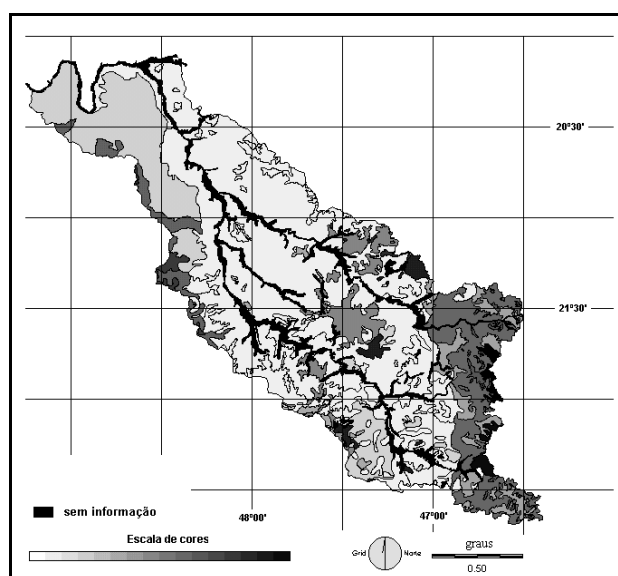


Figura 2 - Mapa de erodibilidade do solo, onde os tons mais claros representam solos de menor erodibilidade e os mais escuros os solos de maior erodibilidade .

4.3 - Caracterização topográfica

O modelo digital do terreno (MDT) foi obtido através da interpolação de curvas de nível digitalizadas das cartas topográficas do IBGE de 1:250.000. A interpolação foi realizada no SURFER utilizando-se o método da curvatura mínima. Os valores interpolados foram exportados para o SIG. A partir do MDT foi calculado o comprimento de rampa (fator L), adotando-se metodologia estabelecida por ROCHA *et al.*, (1995).

As áreas que apresentam maior comprimento de rampa são aquelas onde o relevo é menos acentuado, ou seja, no Compartimento Baixo Pardo Grande. Já as áreas de menor comprimento de rampa estão localizadas onde o relevo é mais movimentado, ou seja, próximas as cabeceiras dos grandes rios. Calculou-se a declividade (fator S) cujos resultados são apresentados na Tabela 2, por classes de declividade na bacia, e onde observa-se a predominância da classe de 0 a 3%. A partir dos planos de informação L e S, o fator topográfico (fator LS) foi determinado de forma bastante rápida no SIG.

Classes de declividade	Área (ha)	Área (%)
0 - 3 %	2.176.457	58
3 - 6 %	584.480	15
6 - 12 %	533.958	14
12 - 20 %	342.117	9
20 - 40 %	138.259	4

Tabela 2 - Distribuição das classes de declividade e sua distribuição nas bacias dos rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande.

4.4 - Uso da terra e Potencial natural de Erosão

Em uma análise rápida do uso da terra através de interpretação visual da composição colorida gerada pelo SIG, pode-se afirmar que grande parte da área é ocupada pela cultura da cana-de-açúcar.

A parte leste, onde se encontram as nascente dos grandes rios, o relevo apresenta-se bastante movimentado. Nesta área observa-se a predominância de pastagem, associada a áreas de cultura perene, principalmente o café, e áreas com vegetação natural (principalmente floresta tropical semi-decídua).

Na porção oeste, próximo à cidade de Bebedouro, encontram-se extensas áreas com cultura perene, onde se destacam o citrus e a seringueira. O cultivo destas culturas está associado principalmente ao tipo de solos da região (latossolos vermelho escuro de textura média), que proporcionam um desempenho de cultura considerado muito bom.

O potencial natural de erosão (Figura 3) foi obtido através do cruzamento dos seguintes planos de informação: fator erosividade da chuva, fator erodibilidade do solo e fator topográfico, através do editor de fórmulas do SIG. A imagem indica as áreas de potencial fraco à erosão (58,28 %), potencial moderado (13,03 %), potencial moderado a forte (12,56 %) e potencial forte (16,13%).

Comparando-se os resultados obtidos de potencial natural de erosão e ocupação do solo, observa-se que, de forma geral, as áreas de maior risco à erosão estão sendo ocupadas por vegetação que oferece uma melhor proteção ao solo. Contudo, uma análise mais detalhada, em uma escala maior, deve ser realizada nas áreas mais susceptíveis e que já apresentem problemas de qualidade da água, utilizando-se a metodologia proposta neste trabalho.

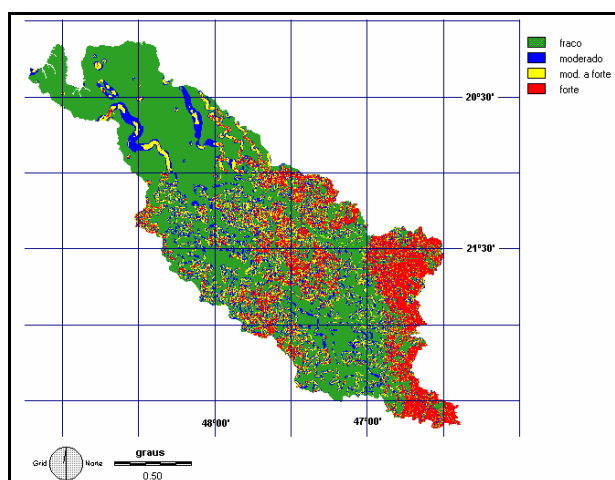


Figura 3 - Potencial natural de erosão das bacias hidrográficas dos rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande.

5 - CONCLUSÕES

As abordagens utilizadas nesse trabalho apontam para a efetividade da integração de planilhas de banco de dados, cartas digitalizadas, e sensoriamento remoto, integrados através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), para se armazenar, processar, e gerar informações necessárias aos órgãos tomadores de decisão em Recursos Hídricos. Além disso, tem-se acumulado uma série de informações e adaptações sobre a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para as condições paulistas, operacionalizando-a para ser utilizada em SIG. A disponibilização das informações levantadas em formato digital permite que estas sejam acessadas, armazenadas e enviadas por meios mais eficientes do que mapas impressos ou boletins. Os elementos aqui apresentados demonstraram a eficácia e aplicabilidade da metodologia utilizada na identificação do potencial natural de erosão da região estudada.

6 - REFERÊNCIAS

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1985). Conservação do solo. Livroceres, Piracicaba - SP.
- BURROUGH, P.A. (1986). Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press, Oxford.
- CANIL, K. & RIDENTE JUNIOR, J. L. (1997). A questão da erosão no contexto do gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, Resumo (Seminário Ciência e Desenvolvimento Sustentável), 112, 113, São Paulo, SP,
- CAVALIERI, A. (1994). Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, Campinas - SP, 79 p.
- CENTRO NACIONAL de ENSINO e PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960a). Carta dos solos do Estado de São Paulo: escala 1:500000. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Rio de Janeiro.
- CENTRO NACIONAL de ENSINO e PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960b). Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo., Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Rio de Janeiro (Boletim 12)
- DENARDIN, J. E. (1990) Erodibilidade do solo estimada através de parâmetros físicos e químicos, Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba - SP, 113 p.
- DONZELI, P. L.; et. al. (1992). Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias, In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O. A. (coord.). Microbacia do córrego São Joaquim (município de Pirassununga). 91, 119, Campinas - SP.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. (1975). Erodibilidade de solos paulistas. Instituto Agrônomo, Campinas - SP (Boletim Técnico 27).
- LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W. C. (1992) Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo de Campinas, Artigo Científico (Bragantia), 189,196, Campinas - SP.
- LOVEJOY, B. S., LEE, J. G., RANDHIR, T. O., ENGEL, B. A. (1997) Research needs for water quality management in the 21st century. A spatial support system. Paper (Journal of Soil and Water Conservation), 18, 22, Iowa-USA.
- PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R. R. (1972). Estimativa das temperaturas médias do Estado de São Paulo em função da altitude e latitude. Instituto de Geografia - USP, São Paulo.
- ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. (1995). Cálculo do fator comprimento de rampa (L): uma metodologia para uso em Sistema de Informação Geográfica. UNICAMP, Campinas - SP.
- VALÉRIO FILHO, M. (1994) Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.). Solos altamente susceptíveis à erosão. FCAV/UNESP/SBCS, 223, 242, Jaboticabal.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. USDA, Washington.