

MAPEAMENTO DE PARÂMETROS DE RISCO DE EROÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA PARA O PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA DO USO DA TERRA POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS

**JULIO CESAR DEMARCHI¹, CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK², EDSON LUÍS
PIROLI³**

¹ Geógrafo, mestre em Agronomia (Energia na Agricultura), doutorando em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente – SP, Fone: (0XX14) 3302-5732, julio.demarchi@gmail.com.

² Engenheira Agrônoma, Professora Adjunta, Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, Botucatu – SP.

³ Engenheiro Florestal, Professor Adjunto, Curso de Geografia, UNESP, Ourinhos – SP.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: O uso e o manejo dos solos agrícolas em desacordo com as características do meio físico promovem a aceleração do processo erosivo e o assoreamento dos rios. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi mapear o risco de erosão natural, o risco de erosão simulado e a expectativa de erosão da bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas, Santa Cruz do Rio Pardo - SP, a partir do uso e manejo do solo de janeiro de 2011, por meio do SIG Idrisi Selva. Tais parâmetros derivam da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). O risco de erosão natural, que consiste na obtenção do uso-manejo permissíveis a partir das perdas de solo toleráveis, do solo cultivado em nível e dos demais fatores da equação, evidenciou que 56,21 % da bacia possui risco de erosão “extremamente baixo” a “baixo” e que 19,76 % dela apresenta risco “alto” a “extremamente alto”. Os mapas de risco de erosão simulado e expectativa de erosão apontaram que 71,37% da bacia apresentou perda de solo abaixo da tolerância e expectativa de erosão ausente, mas em 6,64 % de sua área a erosão foi dez vezes superior à tolerância e em 14,37 % a expectativa de erosão foi “média” ou “alta”.

PALAVRAS-CHAVE: risco de erosão natural; risco de erosão simulado; expectativa de erosão.

MAPPING OF EROSION RISK PARAMETERS IN A WATERSHED FOR LAND USE CONSERVATION PLANNING BY MEANS OF GEOTECHNOLOGY

ABSTRACT: The use and management of farming soils in disagreement with the physical environment attributes promote the acceleration of erosion and river siltation. In this sense, the objective of this paper was to map the natural erosion risk, the simulated erosion risk and the erosion expectation in Ribeirão das Perobas watershed, Santa Cruz do Rio Pardo city, SP, from land use and management of January, 2011, by means of GIS Idrisi Selva. Such parameters derive from Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The natural erosion risk, which consists in a permissible land use-management index obtained from both tolerable soil losses, contour cultivation and the remaining factors of the equation, showed that 56.21% of the watershed has “extremely low” to “low” erosion risk and 19.76% of his area has “high” to “extremely high” risk. The maps of simulated erosion risk and erosion expectation showed that 71.37% of the watershed had soil loss below the tolerance and “absent” erosion expectation, but erosion was ten times higher than the tolerance in 6.64% of its area and erosion expectation was “medium” or “high” in 14.37% of the watershed.

KEYWORDS: natural erosion risk; simulated erosion risk; erosion expectation.

INTRODUÇÃO

A erosão acelerada do solo tem impactos negativos na produção agrícola, na conservação do solo e sobre os recursos hídricos. A necessidade de ferramentas para sua quantificação ou estimativa voltada para o planejamento conservacionista levou os pesquisadores a desenvolverem a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS ou USLE) na década de 1950, a qual foi sistematizada por WISCHMEIER e SMITH (1978) e, posteriormente, revisada por RENARD et al. (1997), constituindo a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). Diversos parâmetros de risco de erosão podem ser derivados do referido modelo, sobretudo os que associam as perdas de solo estimadas aos limites toleráveis de perda dos diferentes tipos de solo.

Os parâmetros de risco de erosão são amplamente utilizados no Brasil e no mundo. FUJIHARA (2002) avaliou os parâmetros de erosão na bacia hidrográfica do Rio Itambi, municípios de Ouro Verde e Panorama – SP, que apresenta quadros de erosão laminar e linear em decorrência do manejo inadequado das pastagens. Predominou na área de estudo o risco de erosão natural moderado a alto em 65,7 % de sua área. O risco de erosão simulado derivado do fator topográfico obtido pelo método automatizado apresentou a maior correlação visual com os processos erosivos levantados na bacia, sendo as perdas de solo inferiores à tolerância em 83,1 % de sua área. Já o parâmetro expectativa de erosão não foi sensível a valores elevados de Potencial Natural de Erosão.

WEILL e SPAROVEK (2008) estimaram a expectativa de erosão do solo na microbacia do Córrego do Ceveiro, em Piracicaba – SP, área intensivamente cultivada com cana-de-açúcar, através do modelo EUPS. A erosão média estimada para a cultura da cana-de-açúcar foi $58 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, quatro vezes superior à tolerância de perda de solo, e para as culturas anuais que ocupam menos de 1 % da microbacia, foi de $113,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Os usos menos intensivos (pastagem, reflorestamento, mata e vegetação ciliar), porém, apresentaram taxas de erosão inferiores à tolerância inerente aos diferentes tipos de solo. O fator LS (topográfico) foi o que mais influenciou a variação observada nas taxas de erosão, seguido pelos fatores C e P.

A sub-bacia do Ribeirão das Perobas está ocupada por diversos usos agrícolas como cana-de-açúcar, culturas anuais, pastagem, reflorestamento com eucalipto, entre outros, em diferentes níveis de manejo, e mantém apenas 7,41 % de sua área ocupada por mata nativa ou ciliar, apresentando evidências de processos erosivos. Ademais, é caracterizada por diversas classes de solo, com diferentes graus de suscetibilidade à erosão. A inexistência de estudos voltados à estimativa do risco de erosão na sub-bacia, somada às suas características ambientais e agrícolas, levaram à escolha da mesma para a realização deste estudo.

O objetivo deste trabalho foi mapear o risco de erosão natural, o risco de erosão simulado e a expectativa de erosão, derivados da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas, Santa Cruz do Rio Pardo - SP, a partir do uso e manejo do solo de janeiro de 2011, por meio do SIG Idrisi Selva.

MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do Ribeirão das Perobas está localizada no município de Santa Cruz do Rio Pardo, centro-oeste do Estado de São Paulo, Brasil. É limitada pelas coordenadas geográficas: latitude $22^{\circ}47'15.04''\text{S}$ a $22^{\circ}50'44.29''\text{S}$ e longitude $49^{\circ}38'55.13''\text{W}$ a $49^{\circ}43'46.42''\text{W}$, e sua área é de aproximadamente $30,611 \text{ km}^2$ (Figura 1).

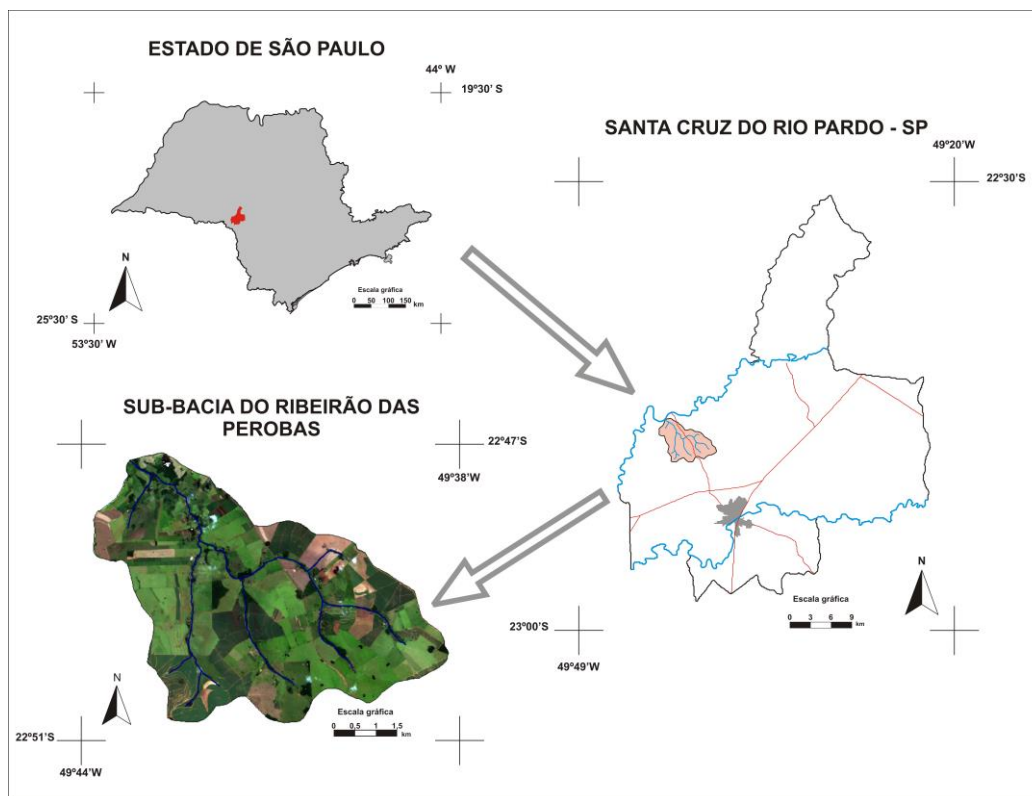


FIGURA 1. Localização da sub-bacia do Ribeirão das Perobas

Foram utilizados os seguintes programas e materiais cartográficos para o desenvolvimento deste trabalho:

- Programas netErosividade SP (MOREIRA et al., 2006) e Usle2D (VAN OOST; GOVERS, 2000), utilizados na estimativa da erosividade da chuva e fator topográfico;
- SIGs Idrisi Selva 17.0 (EASTMAN, 2012), utilizado na geração do mapa de declividade, mapas temáticos e operações de Geoprocessamento, e ArcGIS / ArcMap 9.3.1 (ESRI, 2009), na geração do modelo digital de elevação (MDE) do terreno e nas vetorizações;
- Mapa detalhado de solos e mapa de erodibilidade do solo da sub-bacia do Ribeirão das Perobas, elaborados por DEMARCHI (2012);
- Carta topográfica do IBGE (1973), folha Santa Cruz do Rio Pardo (SF-22-Z-A-VI-4), na escala 1:50.000, com equidistância das curvas de nível de 20 metros, utilizada na elaboração da base cartográfica e extração do modelo digital de elevação da sub-bacia;
- Imagens orbitais: satélite ALOS, sensores AVNIR-2 de resolução espacial 10 m, bandas 1, 2 e 3, e PRISM, de resolução espacial 2,5 m, banda pancromática, ambas de 11/03/2007; satélite Landsat 5, sensor TM, órbita-ponto 221/76, de resolução espacial 30 m, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, de 29/01/2011; e satélite IRS-P6 (ResourceSat 1), sensor LISS III, órbita-ponto 328/094, de resolução espacial 23,5 m, bandas 2, 3, 4 e 5, dos dias 07/12/2010 e 24/01/2011, utilizadas no mapeamento do uso da terra e das práticas conservacionistas.

Os fatores da RUSLE, utilizados na obtenção dos parâmetros de risco de erosão, foram mapeados ou calculados separadamente pelos procedimentos metodológicos descritos abaixo.

O fator R (erosividade da chuva) foi estimado pelo programa netErosividade SP, utilizando as coordenadas geográficas centrais e a altitude média da área de estudo: latitude 22°48'59"S, longitude 49°41'20" W e altitude 570 m. O valor de erosividade obtido foi 7.405 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

O fator K (erodibilidade do solo) foi estimado para todas as classes de solo obtidas no levantamento detalhado de solos conduzido por DEMARCHI (2012) a partir da equação de

MANNIGEL et al. (2002), que utiliza como variáveis as porcentagens de areia, silte e argila dos horizontes do solo. A erodibilidade foi obtida nos horizontes superficiais de todos os pontos de tradagem do levantamento de solos. Nas classes de solos que possuíam mais de um ponto de amostragem, o valor de K assumido foi a média dos índices obtidos. Como os valores de erodibilidade das classes de solo PVAd, PVd e LVAe foram muito elevados em razão do teor de silte + areia ser superior a 840 g.kg^{-1} , adotou-se o valor de erodibilidade do horizonte subsuperficial (Bw ou Bt). O mapa do fator K foi obtido pela média dos valores de erodibilidade das classes de solo identificadas no levantamento de solos.

O fator topográfico (LS), composto pelas variáveis comprimento de rampa (L) e declividade (S), foi gerado pelo programa Usle2D 4.1 a partir do modelo digital de elevação (MDE) e do limite da área de estudo. O MDE foi obtido pela ferramenta “Topo to raster” do SIG ArcMap 9.3.1, que gera modelos hidrológicamente corretos. O algoritmo de modelagem de rota de fluxo utilizado foi o *Flux decomposition*, um algoritmo de fluxo múltiplo. Para a determinação do fator LS, utilizou-se o algoritmo de McCool et al. (1987, 1989), recomendado por RENARD et al. (1997) para obtenção do fator topográfico da RUSLE. Optou-se pelo uso da opção “Rill < Interrill – fator C < 0,15”, requerida pelo programa, pois a erosão entressulcos tem maior expressividade que a erosão em sulcos na área de estudo e a maioria dos usos e manejos presentes apresentou fator C inferior a 0,15.

O mapa de uso da terra da sub-bacia do Ribeirão das Perobas foi elaborado por meio da análise visual (delimitação em tela) das classes de uso sobre a imagem ALOS, fusão PRISM/AVNIR-2, de 11/03/2007. Como a data do uso da terra utilizado no trabalho foi o mês de janeiro de 2011, considerado o mês de maior índice pluviométrico na região, os usos da terra foram atualizados por meio da interpretação de composições coloridas falsa-cor das imagens Landsat-5 e IRS-P6 anteriormente referidas. Para o mapeamento do fator C, as classes de uso e manejo foram reclassificadas em valores C retirados da literatura, a saber: solo exposto (1,0), segundo WISCHMEIER e SMITH (1978); soja com manejo convencional (0,2086), milho com restos incorporados (0,0821), mandioca com manejo convencional (0,7678), café com entrelinha vegetada (0,05), cana-de-açúcar (sem manejo – 0,1 e com incorporação da palha – 0,05), segundo DONZELLI et al. (1992); banana (0,122), de acordo com ANGIMA et al. (2003); reflorestamento de eucalipto com corte a cada 7 anos (0,047), mata nativa ou ciliar (0,0004), pastagem (degradada – 0,05, sem manejo – 0,01 e com manejo – 0,001) e fruticultura (pomares formados) (0,135), segundo SILVA et al. (2010).

Para a elaboração do fator P (práticas conservacionistas), foram inicialmente mapeadas as classes temáticas mata nativa/ciliar, açudes, plantio morro abaixo, plantio em nível e plantio em nível + terraceamento sobre as imagens de satélite. Às classes mata nativa/ciliar, açudes, plantio morro abaixo, foram atribuídos os valores P de 0,001 (GONÇALVES, 2002), 0 e 1 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005), respectivamente. O fator P das áreas cultivadas em nível foi obtido por meio da equação 1, proposta por LAGROTTI (2000), em função da declividade do terreno em porcentagem (S):

$$P = 0,69947 - 0,08991.S + 0,01184.S^2 - 0,000335.S^3 \quad (1)$$

Para declividades inferiores a 0,5 % e superiores a 20 %, assumiram-se os valores do subfator P em 0,6 e 1,0, respectivamente (SILVA et al., 2010).

Em áreas cultivadas em nível e terraceadas, o fator P foi o produto dos subfatores plantio em nível e terraceamento. Este subfator foi obtido a partir dos intervalos de espaçamento entre os terraços fechados, conforme proposta de RENARD et al. (1997), a saber: espaçamento < 33,52 m (0,5), 33,52 a 42,67 m (0,6), 42,67 a 54,86 m (0,7), 54,86 a 68,58 m (0,8), 68,58 a 91,44 m (0,9) e > 91,44 m (1,0).

O parâmetro **risco de erosão natural (e)** (FUJIHARA, 2002), ou capacidade de uso/manejo permissível (UMP) (DONZELLI et al., 1992), foi obtido a partir do isolamento do fator C da RUSLE, ou seja:

$$\text{risco de erosão natural (e)} = \frac{A_{\text{tolerável}}}{PNE.P} \quad (2)$$

Em que: $A_{\text{tolerável}}$ é a tolerância de perda de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$), obtida por DEMARCHI (2012) por classe de solo, seguindo a metodologia proposta por MANNIGEL et al. (2002); PNE é o Potencial Natural de Erosão ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$), produto dos fatores R, K e LS da RUSLE, e P é o fator prática conservacionista, convencionado como plantio em nível, de valor variável com a declividade e determinado pela equação 1.

O risco de erosão natural foi agrupado em classes qualitativas e relacionado às classes de capacidade de uso da terra por NOGUEIRA (2000), conforme Tabela 1.

TABELA 1. Classes de risco de erosão natural e classes de capacidade de uso da terra correspondentes. **Natural erosion risk classes and corresponding land use capacity classes.**

Grau	Intervalo de “e”	Classe
Extremamente alto	$<0,0005$	VIII
Muito alto	$0,0005 \leq e < 0,001$	VII
Alto	$0,001 \leq e < 0,017$	VI
Moderado	$0,017 \leq e < 0,048$	VI
Baixo	$0,048 \leq e < 0,088$	IV
Muito baixo	$0,088 \leq e < 0,2$	III
Extremamente baixo	$\geq 0,2$	I, II, III

O **risco de erosão simulado (es)**, índice proposto por CAVALIERI (1998) que representa a relação entre a perda de solo atual ou simulada e a perda tolerável de solo, foi calculado para a sub-bacia do Ribeirão das Perobas por meio da equação 3:

$$es = \frac{A}{A_{\text{tolerável}}} \quad (3)$$

Em que: A representa a perda anual de solo por erosão ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$).

Os valores de “es” foram agrupados em classes qualitativas propostas por CAVALIERI (1998): perda de solo tolerável (0 – 1,0), perda de 1 a 2 vezes acima do limite tolerável (1,1 a 2,0), perda de 2 a 5 vezes acima do limite tolerável (2,1 a 5,0), perda de 5 a 10 vezes acima do limite tolerável (5,1 a 10,0) e perda maior que 10 vezes acima do limite tolerável ($>10,0$).

A **expectativa de erosão (ee)**, parâmetro que indica o grau de erosão que se espera de um determinado local em virtude do uso, manejo do solo e práticas conservacionistas adotados, foi calculado a partir da equação 4 (VALÉRIO FILHO, 1994):

$$\text{Expectativa de erosão (ee)} = CP_{\text{atual}} - CP_{\text{tolerável}} \quad (4)$$

Em que: CP_{atual} constitui o produto dos fatores C e P da RUSLE para determinada área e $CP_{\text{tolerável}}$ representa as condições máximas de uso, manejo e práticas conservacionistas admissíveis em relação ao Potencial Natural de Erosão (PNE) e à tolerância de perda de solo ($A_{\text{tolerável}}$), ou seja:

$$CP_{\text{tolerável}} = \frac{A_{\text{tolerável}}}{PNE} \quad (5)$$

Os valores de “ee” foram agrupados em classes qualitativas propostas por DONZELLI et al. (1992), a saber: ausente (≤ 0), baixa (0 a 0,05), média (0,051 a 0,5) e alta ($> 0,5$). Valores negativos indicam que as perdas de solo por erosão são inferiores à tolerância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de uso da terra da sub-bacia do Ribeirão das Perobas de janeiro de 2011, do qual foi derivado o mapa do fator C da RUSLE, é apresentado na Figura 2.

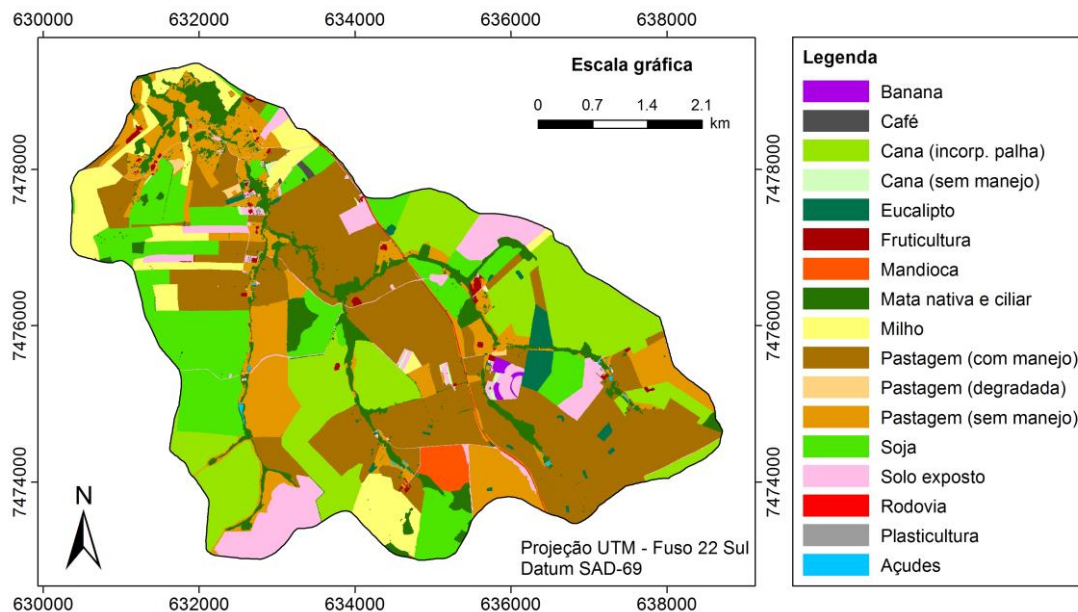


FIGURA 2. Mapa de uso da terra da sub-bacia do Ribeirão das Perobas – janeiro de 2011.

O referido mapa aponta que as pastagens manejadas (terraceadas e/ou adubadas) estão presentes em 29,96 % da superfície da sub-bacia, e que somadas às pastagens sem manejo e degradadas, equivalem a 43,48 % da área total. Já a lavoura de cana-de-açúcar manejada com incorporação da palha representa 17,61 % da área de estudo e, por ser uma cultura semiperene, oferece maior proteção ao solo que as culturas anuais, cujas principais espécies ocupam 14,39 % (soja) e 6,78 % (milho) da área da sub-bacia e são rotacionadas no inverno com outras culturas, como o milho safrinha e a aveia. Parte das áreas mapeadas como solo exposto é cultivada em outros períodos do ano com cana-de-açúcar, principalmente, ou com culturas anuais. A vegetação nativa e as matas ciliares ocupam apenas 7,41 % da área total da sub-bacia, sendo 2,62 % nas áreas de preservação permanente e 4,79 % fora dela.

As Figuras 3a e 3b apresentam os mapas de risco de erosão natural e do Potencial Natural de Erosão (PNE) da área de estudo.

Comparando os referidos mapas, observa-se que eles seguem o mesmo padrão de distribuição das classes temáticas de risco e potencial natural de erosão. Tal comportamento se deve ao fato de que os solos de maior erodibilidade, uma das variáveis do PNE, possuem as menores tolerâncias de perda, fator considerado no cálculo do risco de erosão natural. Os demais fatores são utilizados na obtenção de ambos os índices, com exceção do fator P que, considerado como plantio em nível, é dependente da declividade e reforça sua influência na constituição do risco de erosão natural.

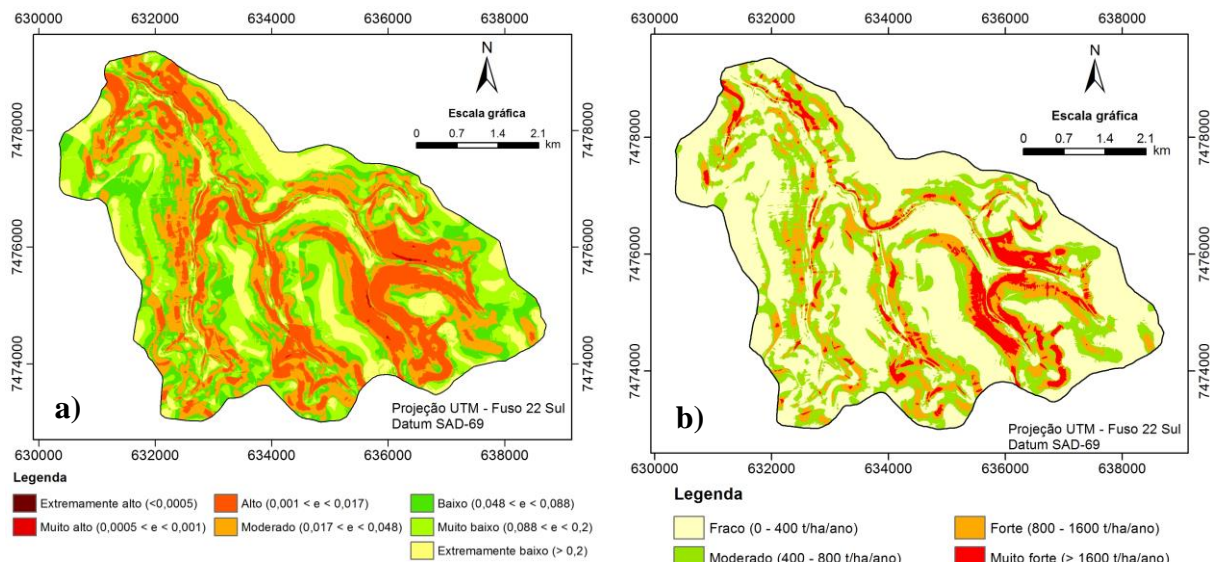


FIGURA 3. a) Risco de erosão natural; b) Potencial Natural de Erosão (PNE) da sub-bacia do Ribeirão das Perobas

Considerando toda a sub-bacia cultivada em nível, o risco de erosão natural ou $C_{\text{permissível}}$ indica os valores de fator C correspondentes ao máximo uso/manejo que determinada área pode suportar para que as perdas de solo por erosão não superem a tolerância de perda. NOGUEIRA (2000) adotou estes valores como fatores limitantes ao uso da terra, associando-os às classes de capacidade de uso da terra.

Nesse aspecto, a classe “extremamente baixo” ($C \geq 0,2$) ocupa 15,12 % da área de estudo, o que permite sua utilização por culturas anuais de menor proteção ao solo contra a erosão. Está associada às classes de capacidade de uso I, II e III, cujos fatores limitantes são menos restritivos. Localiza-se nas áreas de topo e divisores de água, em relevo plano e suave ondulado. A classe “muito baixo” ocupa 23,29 % da sub-bacia em relevo suave ondulado a ondulado e é indicada para culturas perenes, semiperenes e algumas culturas anuais. Está associada à classe III de capacidade de uso da terra, própria para culturas anuais com práticas intensivas para proteção do solo contra a erosão e/ou aumento da fertilidade (DONZELLI et al., 1992). Já a classe “baixo” ocupa 17,8 % da área da sub-bacia também sobre relevo suave ondulado a ondulado. Está associada à classe IV de capacidade de uso da terra, própria para culturas perenes e semiperenes, como o café, a cana-de-açúcar com manejo, pastagens sem manejo e algumas culturas anuais em rotação com a pastagem.

As classes de risco de erosão natural “moderado” e “alto” possuem ocorrência de 24,03 % e 19,61 % na sub-bacia e caracterizam-se por altas declividades. Estão associadas à classe VI de capacidade de uso da terra e, em razão da limitação por declividade ou problema de fertilidade, os usos recomendados são pastagem com restrições moderadas de uso e práticas conservacionistas simples, além da silvicultura. As classes “muito alto” e “extremamente alto” representam juntas apenas 0,15 % da sub-bacia em terrenos de relevo montanhoso a escarpado. Estão associadas às classes VII e VIII e são aptas apenas para pastagens com práticas complexas de conservação do solo, silvicultura e reflorestamento de plantas nativas (classe VII) e conservação ou reflorestamento da vegetação nativa (classe VIII).

Como o plantio em nível foi a única prática conservacionista adotada e a sua eficiência reduz com o aumento da declividade, os usos agrícolas da terra recomendados podem ser modificados para cultivos mais intensivos e menos protetores do solo quando práticas conservacionistas mais eficientes forem adotadas, reduzindo-se assim o valor do fator P.

O risco de erosão simulado (es) e a expectativa de erosão (ee) da área de estudo são apresentados na Figura 4a e 4b.

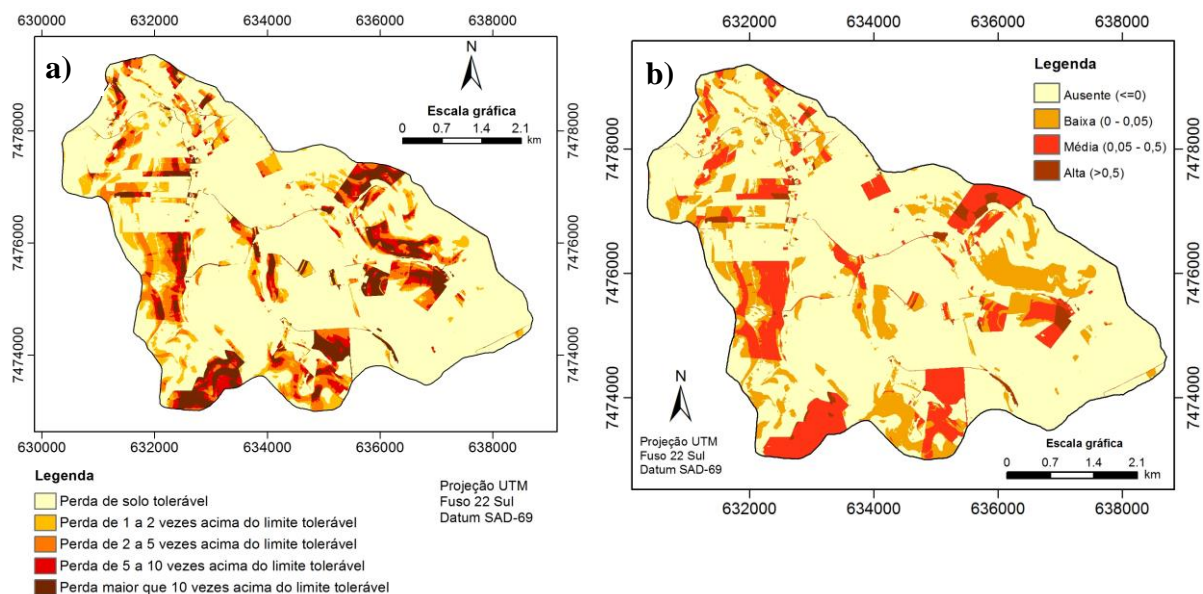


FIGURA 4. a) Risco de erosão simulado; b) Expectativa de erosão da sub-bacia do Ribeirão das Perobas

A análise do risco de erosão simulado aponta que em 71,37 % da área da sub-bacia as perdas de solo estão dentro dos limites toleráveis. Esta classe de risco de erosão coincide com os usos da terra mata nativa / vegetação ciliar, pastagens com e sem manejo, café, parte das lavouras de cana-de-açúcar em menores declives e comprimentos de rampa e parte das lavouras de milho (em áreas terraceadas e de relevo menos acidentado).

As lavouras de soja apresentaram perdas de solo em todas as classes de risco de erosão simulado, com taxas de perda aumentando à medida que aumenta o fator topográfico. Por outro lado, lavouras localizadas em áreas de relevo plano, baixos valores de comprimento de rampa e solos com altas tolerâncias de perda (LVef e NVef), apresentaram perda de solo dentro dos limites toleráveis.

As áreas agrícolas com solo exposto (fator $C = 1,0$) e cultivadas com mandioca (fator $C = 0,7678$) apresentaram perda de solo acima da tolerância em função da cobertura vegetal reduzida ou nula do solo, mas o risco de erosão simulado é diretamente proporcional ao fator topográfico. As lavouras de banana tiveram taxas de erosão de 1 a 2 vezes até 5 a 10 vezes acima do limite tolerável, proporcionais ao aumento da declividade e do comprimento de rampa. Embora a erosão na sub-bacia esteja abaixo da tolerância em 71,37 %, há áreas nas quais a perda de solo é superior à tolerância em 10 vezes. Esta área é de 203,26 hectares ou 6,64 % da área total.

Em relação à expectativa de erosão, os valores negativos (classe “ausente”) demonstram que o uso, manejo e práticas conservacionistas empregados nas áreas agrícolas estão provocando erosão do solo abaixo da tolerância de perda. Embora utilize no cálculo apenas a diferença entre os fatores C e P atuais e toleráveis da RUSLE, estes fatores são derivados da relação entre a perda de solo tolerável e o Potencial Natural de Erosão.

O índice expectativa de erosão possui o mesmo princípio matemático do risco de erosão simulado. A área da expectativa de erosão negativa da sub-bacia, indicativa de que a taxa de erosão provocada pela ação antrópica está abaixo da tolerância, é a mesma da classe 1 de risco de erosão simulado (perda de solo tolerável), ou seja, 2.184,61 ha ou 71,37 % da área total.

As expectativas de erosão classificadas como média e alta ocupam 12,72 % e 1,54% da área da sub-bacia, respectivamente. A expectativa de erosão alta coincide com parte das áreas agrícolas com solo exposto, mesmo em áreas terraceadas. Parte destas áreas possui PNE fraco

ou moderado, evidenciando a importância do uso e manejo do solo no controle dos processos erosivos. A expectativa de erosão média coincide com parte das lavouras de soja e mandioca e com solo exposto em áreas terraceadas e relevo predominantemente ondulado e forte ondulado, além de áreas cultivadas com milho e plantio em nível ou morro abaixo.

Embora o Potencial Natural de Erosão condicione os fatores C e P toleráveis, ele não possui relação direta com a sua expectativa de erosão atual, pois esta depende do uso, manejo e práticas conservacionistas adotados. Os solos de maior erodibilidade na área de estudo (PVdf, por exemplo) apresentam PNE muito forte, mas expectativa de erosão ausente ou baixa em função da ocupação da terra com cultivos que apresentam valores baixos de fator C, todos cultivados em nível em áreas terraceadas. Portanto, a expectativa de erosão também é resultado da interação entre fatores naturais e antrópicos causadores do processo erosivo.

CONCLUSÕES

A análise dos parâmetros de risco de erosão utilizados na sub-bacia do Ribeirão das Perobas permite concluir que o risco de erosão simulado é um indicativo do uso agrícola da terra mais adequado do ponto de vista conservacionista. Sua associação ao sistema de capacidade de uso da terra possibilitou a indicação do máximo uso e manejo do solo (fator C) permitido, de modo que as taxas de erosão não superem a tolerância. Como o plantio em nível (fator P) não é eficiente no controle da erosão se não utilizado em conjunto com outras práticas, pode ser modificado no cálculo do risco de erosão natural para permitir a obtenção mais exata da capacidade de uso-manejo permissível, outro nome dado ao parâmetro.

O risco de erosão simulado e a expectativa de erosão seguem o mesmo princípio, pois apontam, em diferentes graus de intensidade, as áreas nas quais a perda de solo é superior à tolerância. Na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, as áreas que apresentaram perda de solo tolerável também tiveram expectativa de erosão negativa, o equivalente a 71,37 % da área total. Ambos os índices, em especial o risco de erosão simulado, constituem um indicativo das áreas prioritárias à implantação de programas de conservação do solo ou adoção de cultivos de maior proteção ao solo, pois indicam os diferentes graus de intensidade da erosão acima da tolerância.

REFERÊNCIAS

ANGIMA, S. D. et al. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Zürich, v. 97, n. 1-3, p. 295-308, July. 2003.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

CAVALIERI, A. **Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Moji Mirim (SP) utilizando diferentes métodos**. 1998. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

DONZELLI, P. L. et al. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico

para planejamento e monitoramento de Microbacias Hidrográficas. **Documentos IAC**, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva** – GIS and Image Processing Software – version 17. Worcester: Clark Labs, 2012.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. **ArcGIS / ArcMap**. Professional GIS for the desktop, release 9.3.1. Redlands, 2009.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 2, p. 47-129.

IBGE. **Carta topográfica**: folha Santa Cruz do Rio Pardo – SF-22-Z-A-VI-4. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

LAGROTTI, C. A. A. **Planejamento Agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP**: estudo de caso na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Jardim. 2000. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MOREIRA, M. C. et al. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 88-92, abr./jun. 2006.

NOGUEIRA, F. P. **Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP**: proposta metodológica. 2000. 84 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

RENARD, K.G. et al. **Predicting soil erosion by water**: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703).

SILVA, F. G. B. et al. Predição da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando Geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.141-148, abr./jun. 2010.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAV – UNESP/SBCS, 1994. p. 223-242.

VAN OOST, K.; GOVERS, G. **Usle2D**. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 2000.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I – Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 801-814, mar./abr. 2008.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).