



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE QUATRO METODOLOGIAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JANGADA, NOROESTE PAULISTA

Fabiana Cristina Meira Zaparoli - Doutoranda em Geografia na Universidade Estadual de Maringá – UEM. fabianacmz@yahoo.com.br

Édipo Henrique Cremon – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais\Divisão de Sensoriamento Remoto – INPE\DSR. cremon@dsr.inpe.br

RESUMO: O objetivo desse trabalho é avaliar e comparar a aplicação de quatro metodologias que tratam de fragilidade ambiental e a vulnerabilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do ribeirão da Jangada, no noroeste do estado de São Paulo utilizando ambiente SIG, sendo elas: a) Equação Universal de Perda de Solo (EUPS); b) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados, com apoio nas classes de declividade (ROSS, 1994); c) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados, com apoio nos índices de dissecação do relevo (ROSS, 1994) e; d) Análise da Vulnerabilidade Natural a Perda de Solo (CREPANI et al., 2001). A bacia vem sofrendo intenso avanço da cultura da cana-de-açúcar e sua análise é importante no contexto regional. Espera-se que esse trabalho venha contribuir para a escolha de metodologias que mais se aproximem da realidade evitando interpretações equivocadas ou medidas desnecessárias para o planejamento territorial-ambiental.

Palavras chave: Fragilidade ambiental, EUPS, geoprocessamento, bacia hidrográfica, ribeirão da Jangada.

ABSTRACT: This work aims evaluate and compare the application of four methods that approach environmental fragility and vulnerability to erosion in Jangada Stream Basin, located in the northwestern state of São Paulo (Brazil) using GIS, and they are: a) USLE (Universal Soil Loss Equation); b) Empirical Environmental Fragility Analysis, with support in the slope of relief (ROSS, 1994); c) Empirical Environmental Fragility Analysis, with support in the indices of dissection of landforms (ROSS, 1994) and d) Vulnerability to Natural Soil Loss Analysis (CREPANI et al., 2001). The hydrographic basin has been undergoing intense advance the culture of sugar cane and its analysis is important in the regional context. This work will contribute to the choice of methodologies that are more close



to reality to avoid misinterpretations or unnecessary measures for territorial planning and environmental context.

Key works: environmental fragility, USLE, hydrographic basin, Jangada Stream.

1 - INTRODUÇÃO

A demanda por produção de alimentos associada a práticas agrícolas extensivas e técnicas de manejo inadequadas nas regiões tropicais tem contribuído para a degradação ambiental. Um dos fatores associados à degradação ambiental são os processos erosivos.

A erosão do solo é um evento que na maioria das vezes é acentuado por modificações rápidas na cobertura vegetal e pelo tipo de manejo. Processos erosivos acelerados têm sido associados essencialmente às atividades antrópicas. Os impactos ambientais resultantes dos processos erosivos acelerados resultam em prejuízos econômicos e sociais. Dessa forma, é primordial a medida de técnicas que visam reduzir a perda de solos por erosão.

Com o surgimento e o avanço do geoprocessamento, várias metodologias vêm sendo sistematizadas no âmbito do planejamento territorial. A criação, manipulação e cruzamentos de dados são fatores positivos nesse sentido. Muitas concepções teóricas e empíricas presentes na geografia e ciências afins, passaram a ser complementadas com o uso de técnicas quantitativas e computacionais intrínsecas ao geoprocessamento dando maior consistência nesse aspecto. Esses modelos consistem em representações numéricas da inter-relação dos processos e fenômenos da natureza e permite a elaboração de diversos tipos de simulações e análises, facilitando o domínio dos conhecimentos a cerca de processos/fenômenos naturais.

Neste trabalho será apresentada a aplicação de modelos matemáticos através de ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) para avaliar a fragilidade ambiental frente às atividades antrópicas na bacia de drenagem do ribeirão Jangada, noroeste do estado de São Paulo, através das metodologias da: a) Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (WISCHIMEIER & SMITH, 1978); b) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados, com apoio nos índices de dissecação do relevo (ROSS, 1994); c) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados, com apoio nas classes de declividade (ROSS, 1994) e; d) Análise da Vulnerabilidade Natural a Perda de Solo com apoio nas Unidades Territoriais Básicas (CREPANI et al., 2001). Todas estas vêm sendo bastante utilizadas em diversos trabalhos, sobretudo no Brasil.



Tanto a EUPS, como a metodologia de Crepani et al.(2001) tem como características ressaltar áreas frágeis e susceptíveis a processos erosivos, se entende aqui que tais metodologias servem como indicadores de fragilidade ambiental, já que ambas apóiam-se em uma abordagem integrada dos elementos da paisagem.

As três últimas metodologias apresentadas estão fundamentadas no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), em que se busca analisar de forma integrada atributos como a rocha, relevo, solo, cobertura vegetal, usos do solo e pluviosidade. A EUPS foi resultado de extensivos ensaios e testes que o estatístico que Wischimeier deu início a partir de 1958 e, em 1964 em parceria com Smith, publicou um artigo apresentando a equação e que não deixa de fazer uma abordagem integrada da paisagem.

A bacia de drenagem do ribeirão Jangada está localizada no noroeste do estado de São Paulo que vem sendo intensamente marcada pelo avanço do cultivo da cana-açúcar. Está inserida dentro da bacia do rio Aguapeí ou Feio e abrange os territórios municipais de Guararapes, Piacatu, Gabriel Monteiro, Araçatuba e Bilac, com uma área total de 315 Km².

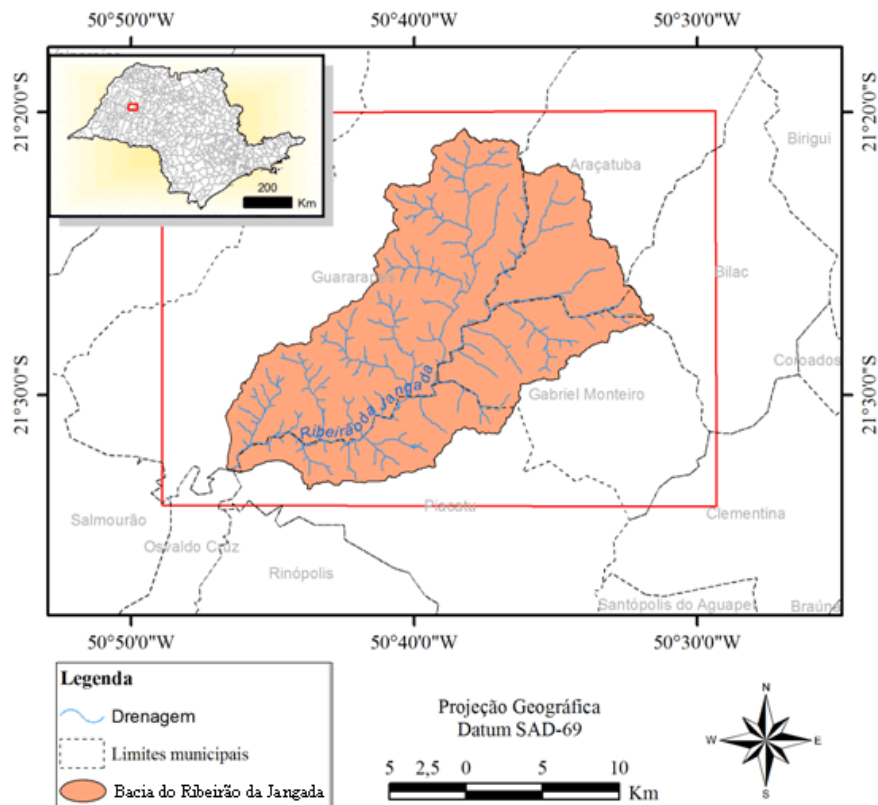


FIGURA 1. Mapa de localização da bacia do ribeirão Jangada.



O clima da área pela Classificação de Köppen é Tropical úmido com inverno seco (Aw), predominando por quase toda a área de influência com totais de chuva no período seco inferiores a 30 mm e período úmido em torno de 230 mm, a temperatura média fica acima de 22°C no mês mais quente e acima de 18°C de temperatura média no mês mais frio.

Com base no IPT (1981), a área de estudo que está localizada no Planalto Ocidental paulista, possui seu relevo em degradação de planaltos dissecados constituídos por colinas amplas e colinas médias. Próximo à foz do ribeirão da Jangada com o rio Aguapeí se tem um relevo de agradação com depósitos aluviais. Situa-se essencialmente sobre rochas do Grupo Bauru, constituído por diversas formações predominantemente areníticas, com ocorrência da Formação Vale do Rio do Peixe (K2 - antiga Formação Adamantina) e Formação Araçatuba (K2). Basaltos do Grupo São Bento, da Formação Serra Geral (K1), expõem-se no vale do ribeirão da Jangada principalmente em seu baixo curso próximo ao rio Aguapeí em ocorrências descontínuas (PERROTA et al, 2005).

Em decorrência do predomínio de rochas areníticas na bacia, do clima tropical úmido e de declividades de baixa a média entre o topo e baixa vertente, os tipos de solos predominantes na área são os Argissolos, com algumas áreas de Latossolo nos topos e Cambissolos associados à Neossolos Litólicos, próximos aos vales.

A vegetação original da área já foi bastante devastada durante o processo de colonização da região, restando alguns remanescentes, já bastante degradados em algumas reservas legais e áreas de preservação permanente. O uso do solo atual é predominantemente agrícola, não havendo centros urbanos.

2 - METODOLOGIA

Todas as informações geográficas sobre a bacia foram estruturadas em bancos de dados em ambiente SIG, ArcGIS Desktop 9.x, licenciado pela Universidade Estadual de Maringá. Assim foram elaboradas e cruzadas as informações de várias cartas temáticas de acordo com cada metodologia expostas abaixo.

2.1 - Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) - A EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) é resultado da interação de: a) um índice de erosão de chuva; b) um método de avaliar os efeitos do manejo de uma cultura com vista às condições climáticas locais; c) um fator quantitativo de erodibilidade do solo; d) um método que leva em conta os efeitos de



interpelações de certas variáveis, tais como nível de produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (2.1)$$

Onde:

A = Perda de solo calculada em unidade de área, t/ha.ano

R = Fator erosividade da chuva, Mj.mm/ha.h.ano

K = Fator erodibilidade do solo, ton.h/Mj/mm/.ano

L = Fator comprimento de rampa (adimensional)

S = Fator grau de declive do terreno (adimensional)

C = Fator uso e manejo do solo (adimensional)

P = Fator prática conservacionista (adimensional)

As variáveis que constituem a EUPS (erosividade, erodibilidade, comprimento e declividade das vertentes, uso, manejo e práticas de conservação dos solos) foram levantadas mediante bibliografia, levantamentos pré-existentes da bacia em questão e sensoriamento remoto.

2.1.1 - Fator erosividade das chuvas (R) - A erosividade corresponde a um valor numérico que demonstra a capacidade da chuva em provocar erosão. Devido à carência de aparelhos que registrem essa característica, Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (2005) propuseram calcular o índice de erosividade baseado em dados de precipitação, através da seguinte equação para a determinação do fator R:

$$EI = 67.355 (r^2/P)^{0.85} \quad (2.2)$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão expressa em Mj.mm/ha.h

r = precipitação média mensal em milímetros (mm);

P = precipitação média anual em milímetros (mm);

Bertoni e Lombardi Neto (2005) definiram valores de erosividade da chuva para todo o estado de São Paulo, delimitando zonas onde a distribuição do potencial erosivo da chuva é uniforme. Os autores delimitaram para a região onde a área do estudo está localizada o valor de 6000 Mj.mm/ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹.

2.1.2 - Fator erodibilidade do solo (K) - Este fator diz respeito às propriedades do solo que afetam a velocidade de infiltração da água, permeabilidade e capacidade de armazenamento de água; e as que conferem resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

Medidas experimentais do valor de K conforme normas estabelecidas na metodologia original da EUPS necessitam de muitos anos de experimentações. Visto essa dificuldade



optou-se aqui por trabalhar com dados levantados por Lombardi Neto e Bertoni (1999). Os autores estudando 66 perfis de solo para dois agrupamentos de solos que ocorrem no estado de São Paulo, os argissolos e os latossolos, consideraram alguns valores. O valor para neossolos litólicos, foram adaptados de acordo com as taxas de erosão mencionados no livro dos autores (*op. cit.*). O valor para neossolos quartzarênicos foi compilado de Fujihara (2002) que elaborou a EUPS para uma bacia de drenagem vizinha à área do estudo, na qual as características físicas são semelhantes.

Tabela 1. Fator K para os solos presentes na bacia do ribeirão Jangada

Unidades de Solo	Fator K (Mj.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)
Argissolos	0,0350
Latossolos	0,0175
Neossolos Quartzarênicos	0,0296
Neossolos Litólicos	0,0350
Gleissolos e Neossolos Flúvicos	0,0000

2.1.3. Fator topográfico (LS)

O comprimento de rampa (L) e a declividade (S) das vertentes têm influencia direta na intensidade da erosão hídrica. Esses dois fatores são analisados em conjunto para aplicação na EUPS, constituindo assim, o fator LS. Bertoni (1959) elaborou a equação abaixo para representar tal integração:

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (2.3)$$

Onde:

LS: fator topográfico

L: comprimento de rampa (m)

S: declividade (%)

Este fator apresenta dificuldades de obtenção devido à complexidade do perfil do relevo. Algumas metodologias vêm buscando sistematizar a obtenção dessas variáveis (p.e. DESMET & GOVERS, 1996). Neste trabalho optou-se em utilizar, depois de vários testes, a metodologia de Valeriano (2002) para obter os valores de comprimento de rampa, por apresentar valores mais coerentes para esse estudo de caso, através do software IDRISI 2.0, a partir do MDE-SRTM. A declividade foi obtida do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008). Com o fator L e S obtido, foi feita integração de ambos pela equação proposta por Bertoni (1959), obtendo o fator LS.

2.1.4 - Fator C - Este é o fator de uso e manejo dos solos, sendo a relação esperada da perda de solo com o uso, levando em consideração: a variação da cobertura vegetal, seqüência de



culturas, práticas de manejo e estágio de crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal durante o período das chuvas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Para obter esses dados foram utilizadas imagens de satélite, a partir da fusão de uma imagem Landsat 5 TM de 30 metros de resolução espacial e composição R5G4B3 com uma imagem monocromática CBERS-HRC de 2,5 metros de resolução espacial, ambas do final do ano de 2008, foi possível a obtenção de um produto de 2,5 metros de resolução espacial em composição colorida, o que facilitou a análise em semi-detalle por interpretação visual para o mapeamento do uso do solo. As classes mapeadas tiveram seus respectivos valores compilados de Vázquez-Fernández et al. (1996).

Tabela 2. Fator C para o uso do solo presente na bacia do ribeirão Jangada

Classe	Fator C
Mata	0,0001
Cana-de-acúcar	0,0500
Pastagem	0,0080
Culturas permanentes	0,1350

2.1.5 - Fator P - Corresponde a prática conservacionista e se entende como a relação entre a intensidade esperada de perda com determinada prática conservacionista e aquela quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005), ou seja, são técnicas adotadas, no intuito de se ter o controle da erosão (Tab.3).

Tabela 3. Fator P para o uso do solo presente na bacia do ribeirão Jangada

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno/terraços	0,5
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Adaptado de Bertoni & Lombardi Neto (2005)

Calculada a perda de solo, os valores foram ponderados de acordo com a perda permissível de cada classe de solo (A tolerável), disponíveis na literatura (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005; MANNIGEL et al, 2002), conforme equação abaixo:

$$\text{Classes qualitativas} = \frac{A \text{ tolerável}}{A (\text{perde de solo da EUPS})} \quad (2.4)$$

Os valores obtidos foram interpretados em classes qualitativas de Muito Baixo a Muito Alto de erosão, conforme tabela 4:

Tabela 4. Índices utilizados para classes qualitativas da EUPS.

Valores da equação 2.4	Classes
< 0,5	Muito Alta
0,501 – 0,660	Alta
0,661 – 1,333	Média
1,334 – 3	Baixa



> 3

Muito Baixa

2.2 - Metodologias de Ross (1994) - A Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados, com apoio nos índices de dissecação do relevo, desenvolvida por Ross (1994) resulta da correlação entre dados de levantamento de solos, índices de dissecação de relevo, cobertura vegetal e análise climatológica. Após o levantamento básico dessas variáveis, as informações são agrupadas hierarquicamente em cinco classes de fragilidade, sendo que os índices de dissecação do relevo variam entre fraca (1) a muito forte (5); os solos variam, quanto à fragilidade, entre muito baixa (1) a muito forte (5); a cobertura vegetal em grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5) e a pluviosidade entre categorias muito fraca (1) a muito forte (5). Essas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Cabe lembrar que a fragilidade é representada pela combinação dos conjuntos arábicos dos quatro dígitos representantes das quatro categorias mencionadas acima.

A outra metodologia proposta por Ross (1994), a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados, com apoio nas classes de declividade, simplesmente substitui a classe de dissecação do relevo pela de declividade. Para Ross (1994), quando se trata de escalas intermediárias (1:50.000), a classe de declividade parece ser mais apropriada do que a dissecação do relevo.

A variável mais difícil de obter é a dissecação do relevo, entretanto trabalhos recentes têm buscado sistematizar esse problema (p.e. PELOSO & VALERIANO, 2008; MUNHÕS, 2009; MUNHÕS & VALERIANO 2009), através de uma operação de janelas móveis de 33x33, foi obtido um MDE de dissecação do relevo através dos dados altimétricos SRTM do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008).

2.3 - Metodologia de Crepani et al.(2001) - Na metodologia desenvolvida por Crepani et al. (2001), os autores utilizam um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem obtido através da análise e interpretação de imagem LANDSAT-TM. No caso, foi considerada a bacia de drenagem do ribeirão da Jangada como UTB, tendo em vista seu contexto do meio físico e uso da terra.

Dados temáticos (geologia, pedologia, cobertura vegetal e dados de intensidade pluviométrica) constituem os fatores de uma equação empírica, resultante de uma média aritmética que busca representar a escala de vulnerabilidade natural a perda de solo, conforme



a equação 2.5. Os valores resultantes são fatiados em intervalos de caráter qualitativos, que denotam a proporção de vulnerabilidade a perda de solo.

$$V = \frac{G + R + S + V + C}{5} \quad (2.5)$$

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

V = vulnerabilidade para o tema Uso do Solo/Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Os dados sobre a geologia da área foram baseados no mapeamento efetuado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (PERROTA et al, 2005) para o estado de São Paulo, em que cada formação teve um peso de vulnerabilidade associado de acordo com a litologia já definida por Crepani et al. (2001), conforme tabela 5:

Tabela 5. Índices de vulnerabilidade para geologia da área do estudo

Geologia	Vulnerabilidade
Formação Vale do Rio do Peixe	2,4
Formação Araçatuba	2,5
Formação Serra Geral	1,5
Depósitos Aluviais	3

Para o tema de geomorfologia, é feita uma ponderação entre as variáveis de dissecação do relevo, amplitude altimétrica e declividade. As duas primeiras variáveis foram obtidas conforme metodologia de Munhõs (2009) e Munhõs e Valeriano (2009), através de operação de janelas móveis de 33x33 sobre o MDE-SRTM do projeto TOPODATA e a última de modo automático em ambiente SIG. Os respectivos pesos atribuídos a classe foram determinados conforme trabalho de Crepani et al. (2001).

Em relação a temática do uso do solo e vegetação, os dados foram obtidos por imagens de satélite, já citada anteriormente, e também por mapas municipais de vegetação do inventário do Instituto Florestal do Estado de São Paulo (www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp) que ajudou a diferenciar os tipos de vegetação na interpretação visual. As classes de uso do solo e vegetação identificada na área e seus respectivos índices de vulnerabilidade são:

Tabela 6. Índices de uso do solo e vegetação

Uso do solo/vegetação	Vulnerabilidade
Cana-de-açúcar	2,9
Pastagem	2,0
Outras culturas temporárias	2,5
Mata moderadamente vulnerável	2,2
Mata moderadamente estável	1,3
Cerrado estável	1,0



Mata estável	1,0
--------------	-----

Quanto à distribuição de tipos de solos na bacia, foi utilizado o mapa elaborado por Cremon & Zapparoli (2009), em trabalho prévio. Crepani et al. (*op. cit.*) salientam que a Pedologia participa da caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica que é a maturidade dos solos. E a maturidade dos solos, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos. Sendo assim, os autores atribuem pesos para grupos de classes de solo, de acordo com sua maturidade:

Tabela 7. Índice de vulnerabilidade para solo

Solos (EMBRAPA, 1999)	Vulnerabilidade
Latossolos	1,0
Argissolos Nitossolos	2,0
Cambissolos	2,5
Neossolos Gleissolos Gleissolos Afloramento Rochos	3,0

Para a variável de clima, Crepani et al. (2001) estabelecem uma tabela com os índices de vulnerabilidade relacionados com pluviosidade em mm por mês. Sendo assim, foi pego os dados históricos da precipitação disponíveis no site da Cepagri/Unicamp, <http://orion.cpa.unicamp.br/>, para o município de Guararapes (SP), que abrange a maior parte da bacia, e foi dado o peso para cada mês da média histórica e calculada a média anual com o respectivo peso final, conforme tabela 8, e dividindo-se a soma dos valores de vulnerabilidade para cada mês por doze, temos o valor total de vulnerabilidade para o ano, que no caso é 1,26.

Tabela 8: Dados de precipitação e os respectivos índices de vulnerabilidade para Guararapes (SP).

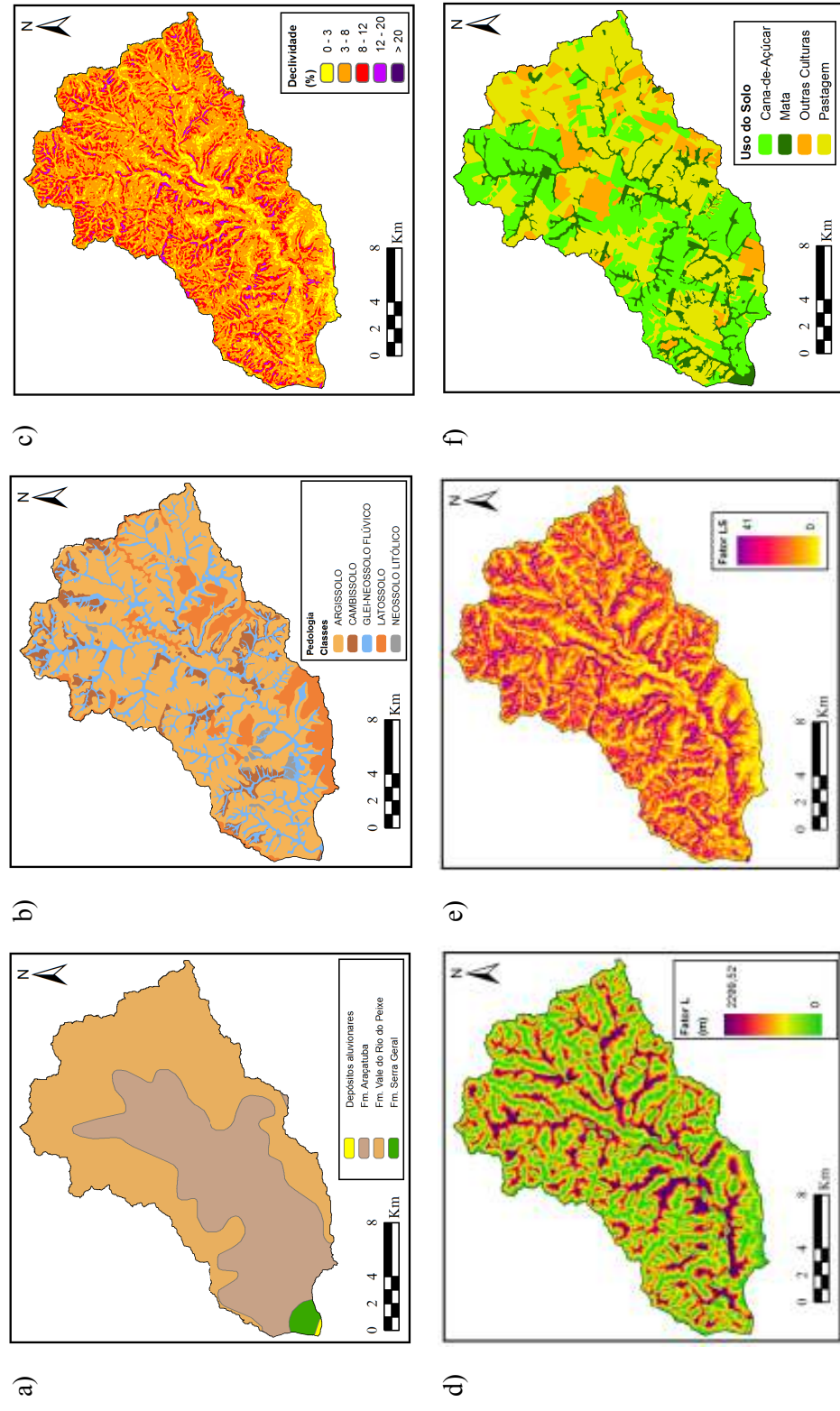
Mês	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Mês	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
Janeiro	230.0	1,8	Agosto	30.1	1,0
Fevereiro	173.9	1,5	Setembro	64.1	1,1
Março	140.6	1,4	Outubro	107.6	1,3
Abril	71.0	1,1	Novembro	124.0	1,3
Maiο	65.0	1,1	Dezembro	199.6	1,6
Junho	38.4	1,0	Total		15,2
Julho	26.5	1,0			

Fonte. Cepagri/unicamp e Crepani et al.(2001).



3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção da precipitação e da composição para a geomorfologia da metodologia de Crepani et al. (2001), as bases temáticas obtidas para a aplicação das metodologias acima descritas foram oriundas dos dados apresentados na prancha 1:



PRANCHA 1: a) Geologia; b) Pedologia; c) Declividade; d) Comprimento de rampa (fator L); e) Fator LS; f) Uso do solo.



Para a EUPS, foi obtido o produto apresentado na figura 2 que possui média de 12 e desvio padrão de 21,61 ton./ha.ano. Com as maiores perdas na média e baixa vertente, geralmente associado à maiores declives e argissolos e cambissolos sob o cultivo da cana.

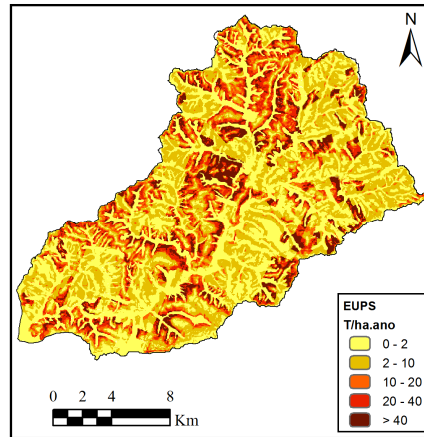
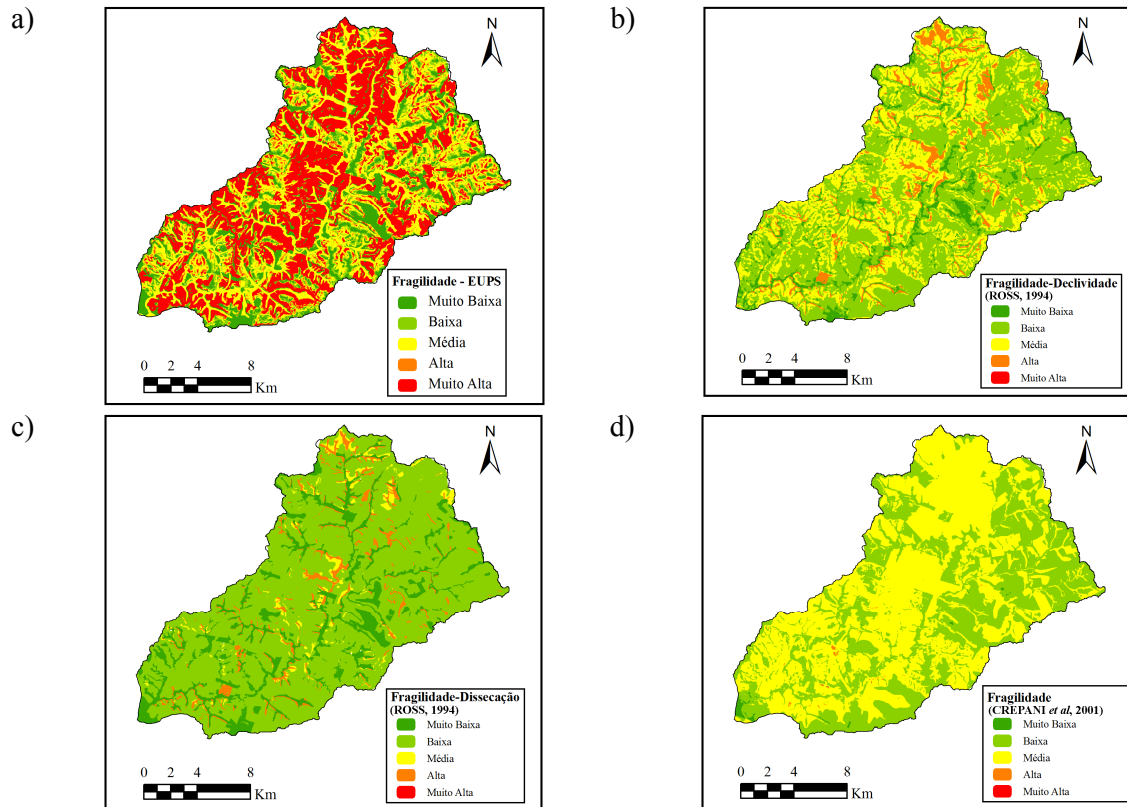


FIGURA 2. Mapa da EUPS para a bacia do ribeirão Jangada.

Para os produtos relativos à fragilidade, foi possível verificar que todas apresentaram resultados bastante particulares, resultando em produtos divergentes entre si visualmente (prancha 2), mas que apresentam coerência mediante interpretação de cada metodologia individualmente.

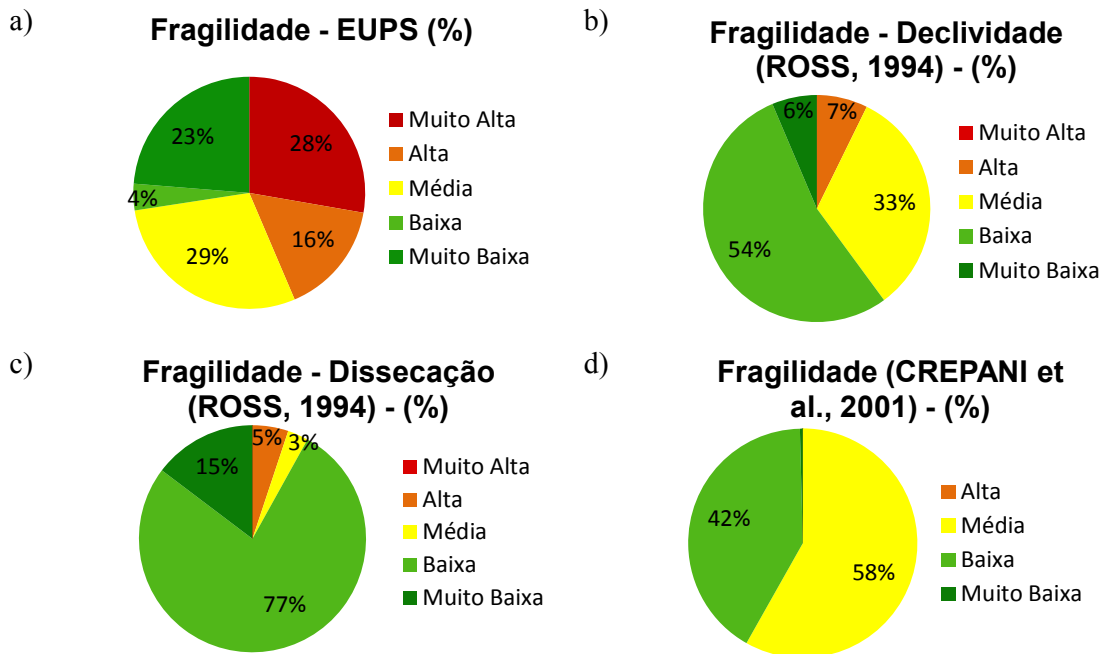


PRANCHA 2: a) Fragilidade dada pela EUPS; b) Fragilidade baseada em Ross (1994) por



declividade; c) Fragilidade baseada em Ross (1994) por índice de dissecação do relevo; d) Fragilidade de acordo com Crepani et al. (2001).

A partir dos dados obtidos (pranchas 2 e 3), nota-se que o mapa resultante da EUPS foi o que apresentou a maior frequência de classes com fragilidades alta e muito alta. Estes valores se devem principalmente à combinação entre cana-de-açúcar, presença de argissolos, maior declividade e comprimento de rampa, já as áreas com menor fragilidade pertencem a áreas de pastagem, mata e latossolos. A classificação foi realizada a partir da relação entre a perda de solo tolerável de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005) e os resultados obtidos após a aplicação da EUPS. Assim tem-se desde fragilidade muito alta para áreas que perdem mais que o dobro do limite tolerável a classes médias que perdem em torno do limite tolerável.



Prancha 3: a) Fragilidade de acordo com a EUPS; b) Fragilidade de acordo com Ross (1994) utilizando a declividade; c) Fragilidade de acordo com Ross (1994) utilizando índice de dissecação do relevo; d) Fragilidade de acordo com Crepani et al. (2001).

Observações em campo e por imagens de satélite de alta resolução, percebe-se que nas áreas apontadas no mapeamento da EUPS como de maior potencial a erosão laminar, o terreno tem baixas declividades e maior conservação do solo por conta do manejo e dificilmente perderá a quantidade de solo estimada. Entende-se então que para aplicar a EUPS é necessário levantamentos de campo e análises como de erodibilidade, química e física dos



solos, uma vez que utilizando os dados da bibliografia não se conseguiu chegar a valores que condizem com a realidade observada.

Por sua vez, o mapeamento utilizando a metodologia de Ross (1994) com base na dissecação do relevo, apresentou os maiores valores de fragilidade baixa (15%) e muito baixa (77%), contradizendo a EUPS. Isso ocorreu porque essa metodologia valoriza o fator geomorfologia, que no caso da bacia estudada, apresenta baixos valores de dissecação. Áreas frágeis, onde ocorrem ravinamentos, foram consideradas como de baixa fragilidade.

Já na metodologia que leva em consideração os valores de declividade (ROSS, 1994), houve um substancial aumento das classes de média fragilidade, principalmente em virtude das médias declividades da bacia a partir da média vertente em direção ao sopé, mais uma vez ressaltando o peso do fator geomorfologia nessa metodologia. As áreas que apresentaram valores com alta fragilidade correspondem às maiores declividades, muitas vezes associados a neossolos litólicos e cambissolos. Enquanto as classes de baixa e muito baixa fragilidade estão associadas principalmente a áreas de vegetação ripária e de latossolos ou até mesmo argissolos, notadamente com declividades baixas. Com a aplicação desta metodologia foi possível destacar aquelas áreas com maiores declividades associadas a solos mais frágeis como os neossolos litólicos e cambissolos. Assim, esse mapeamento demonstrou maior coerência com a realidade da bacia em questão.

A metodologia de Crepani et al. (2001) apresentou um predomínio das classes baixa e média. Os valores da classe média estão associados às áreas de cultivo de cana e de maiores declividades, já as áreas de baixa fragilidade ocupam principalmente os topos com mata ou culturas permanente, conduzindo ao entendimento de serem os fatores uso do solo e declividade os mais importantes. Esta metodologia demonstrou-se generalizadora, no caso desta bacia hidrográfica, não detectando áreas com maior dissecação ou maior declividade associadas à cambissolos ou neossolos litólicos.

4 - CONCLUSÕES

Foi possível observar nesse trabalho, que após todo o processo aplicado às cartas temáticas que deram origem à EUPS, os resultados da estimativa de perda de solo apresentaram perdas provavelmente exageradas, para corrigi-la seriam necessários ensaios no campo e laboratório e não apenas compilação de dados bibliográficos independente do grau



de confiabilidade. Percebe-se a mesma dificuldade de calibração em outros trabalhos encontrados na bibliografia pelo país a fora.

O Brasil é um país com grandes extensões de terras agricultáveis, motivo para se preocupar com problemas referentes à erosão em lençol, cuja predição é o objetivo da EUPS. Entretanto, esse método empírico é importado de países de clima temperado nos quais processos naturais ligados a gênese e evolução dos solos são totalmente diferentes do que ocorre aqui. Muitos estudiosos tentam realizar adaptações ao modelo americano, porém poucos recursos e tempo são despendidos para ensaios laboratoriais e de campo necessários para a calibração do modelo à realidade brasileira. Um dos pontos positivos a considerar são os avanços ocorridos por meio do geoprocessamento, uma vez que o cruzamento das informações é acelerado pelos programas computacionais disponíveis.

Por sua vez, as metodologias de Crepani et al.(2001) e de Ross (1994) não demandam de dispendiosos ensaios de campo e laboratório e são mais facilmente aplicáveis apresentando maior praticidade. Contudo os resultados obtidos são bem divergentes, provavelmente por conta da definição das classes de fragilidade de cada autor. Aqui foram utilizadas as classes sugeridas pelos autores. Percebeu-se nas metodologias de Ross (1994) que o relevo exerce uma grande importância para a classificação da fragilidade, enquanto que em Crepani et al. (2001) por ponderar precipitação e geologia com o mesmo peso das variáveis de solo, uso do solo e geomorfologia, o produto final resulta em valores de médias fragilidades, não condizendo com realidade.

O geoprocessamento se mostrou uma importante ferramenta na aplicação das metodologias apresentadas nesse trabalho, sendo que sua aplicação em planejamento territorial-ambiental deve ser mais explorada e aperfeiçoada. Todavia, apenas o domínio das técnicas de geoprocessamento, sem conhecimentos acurados em geomorfologia e pedologia, assim como ensaios de laboratório e campo, podem levar a interpretações equivocadas sobre a realidade.

5 - AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. Márcio de Morisson Valeriano e a Moisés Pereira Galvão Salgado, ambos do INPE/DSR, pela ajuda no cálculo do fator LS da EUPS.



6 - REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5 ed. Piracicaba/SP: Ícone editora, 2005, 355 p.
- BERTONI, J. **O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia, Campinas, n. 18, p. 113-140, 1959.
- CREMON, É. H. ; ZAPAROLI, F. C. M. Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Jangada, Noroeste Paulista. In: **I Simpósio Nacional de Recursos Tecnológicos aplicados à Cartografia**, 2009, Maringá/PR. **Anais do I Simpósio Nacional de Recursos Tecnológicos aplicados à Cartografia e XVIII Semana de Geografia**, 2009.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p. (INPE-8454-RPQ/722).
- DESMET, P.J.J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. In: **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433. 1996.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.
- FUJIHARA, A. K.. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de Geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, 2002.
- IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: **Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo**, 3, Recife, Anais. fl. 13. 1980.
- MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum** Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- MUÑOZ, V. A.; VALERIANO, M. M. Mapeamento da predominância Topográfica através do Processamento de Dados SRTM como Contribuição ao mapeamento de Solos. In: **VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de geomorfologia**, Belo Horizonte – MG, 2008.
- PELOSO, B. D. A.; VALERIANO, M. M. Processamento digital de Imagens SRTM para o mapeamento da amplitude altimétrica. In: **VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de geomorfologia**, Belo Horizonte – MG, 2008.
- PERROTA, M. M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, 2005.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74,1994.
- SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, T.A.J.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G. (org.). **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1999, p. 229-265.
- VALERIANO, M. M.. Mapeamento do comprimento de rampa em microbacias com Sistema de Informação Geográfica. In: **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1541-1551, 2002



VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 2004. 72p.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais.** São José dos Campos: INPE (INPE-0000 -TDI/00), 2008.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREM, 1977.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. A. et al. Determinação de seqüências culturais em microbacia hidrográfica para caracterização do Fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. **Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador, p. 63-67, 1996.

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