



DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)
DETERMINATION OF NATURAL POTENTIAL FOR SOIL EROSION IN JACARÉ GUAÇÚ STREAM BASIN (SÃO PAULO STATE - BRAZIL)

Vladimir Souza¹, Emerson Galvani²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo determinar o potencial natural à erosão (PNE) na bacia do rio Jacaré Guaçú (SP) com base nos fatores físicos da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). Dados pedológicos, de precipitação pluviométrica e de Sensoriamento Remoto foram usados para determinar as variáveis naturais do referido modelo, ou seja, erosividade das chuvas (fator R), erodibilidade dos solos (fator K) e topografia (fator LS). Técnicas de Geoprocessamento desenvolvidas em Sistema de Informação Geográfica (SIG) foram utilizadas para estruturar e executar o modelo ambiental que possibilitou a regionalização das áreas de maior risco de ocorrência de processos erosivos. Os resultados demonstram que destacam-se os locais classificados com alto, muito baixo, extremamente alto e muito alto potencial, com representatividade em mais de 90% em toda área de estudo. Os locais com PNE médio e baixo ocupam menos de 10% da bacia hidrográfica. Os dados obtidos podem auxiliar no ordenamento territorial da área de estudo, sobretudo no que diz respeito ao gerenciamento e expansão das atividades agropecuárias.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento, Erosão, Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

This paper aims to determine the natural erosion potential in Jacaré Guaçú stream basin (São Paulo State - Brazil) based in the physical factors of Universal Loss Soil Equation (ULSE). Pedological, rainfall and Remote Sensing data were used to define the natural variables of model, that is, rainfall erosivity (R factor), soil erodibility (K factor) and topography (LS factor). Geoprocessing techniques developed in Geographic Information System (GIS) were used to structure and execute the environmental model allowing determining areas with higher erosion risk. The results show that the areas classified as high, very low, extremely high and very high potential occupy more than 90% of study area. The areas with medium and low natural erosion potential occupy less than 10% of Jacaré Guaçú stream basin. The results can contribute to land use planning in the study area, particularly in management and expansion of agricultural activities.

KEY-WORDS: Geoprocessing, erosion, Geographic Information System

Recebido em: 03/04/2015.

Aceito em: 02/01/2017.

¹ Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, e-mail: vladimirsouza@usp.br

² Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, e-mail: egalvani@usp.br

1.INTRODUÇÃO

Os processos erosivos acelerados que ocorrem na região tropical úmida da Terra estão associados, dentre outros fatores, à intensidade das chuvas, propriedades dos solos, características do relevo e ao uso e ocupação das terras.

As características individuais e combinadas desses atributos físicos e antrópicos irão influenciar diretamente na espacialização das áreas mais propícias ao desenvolvimento natural ou acelerado de determinadas feições erosivas.

Normalmente, o estudo desse tema é realizado por meio de métodos diretos e indiretos. O monitoramento de processos e atributos em campo e a execução de ensaios experimentais em laboratório faz parte dos métodos diretos enquanto que o uso de modelagem matemática constituem os métodos indiretos. De forma geral, os modelos matemáticos buscam exprimir uma tentativa de representação da realidade por meio do relacionamento sistêmico e dinâmico dos fatores que influenciam o fenômeno (LAMBIN, 1994).

No caso das perdas de solo por erosão laminar, os modelos buscam relacionar os processos ligados aos fatores naturais (erosividade das chuvas, topografia e tipos de solos) e antrópicos (uso das terras e práticas conservacionistas dos solos) dos ambientes (BISSIONAIS et. al.; 2001; MORGAN, 1995).

Nesse sentido, a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978) e descrita na equação 1, corresponde a um dos modelos mais usados para o estudo dessa temática.

Onde: $A = RKLSCP$ **(1)**

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 – t/ha (MJ/ha.mm/h); 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).

Dentre outros fatores, a Equação Universal de Perda de Solos apresenta grande vantagem em relação aos outros métodos devido à sua simplicidade de aplicação e por usar variáveis relativamente fáceis de obter (CABECAUER, HOFIERKA, 2008).

No Brasil, país de grande atividade agropecuária, a aplicação da EUPS ou de parte dela pode ser considerada como um guia para o planejamento conservacionista do uso da terra (BERTONI, LOMBARDI NETO, 1999). Os trabalhos de Bissonais et al. (2001), Paranhas Filho et al. (2003), Prado e Nóbrega (2005), Tomazoni e Guimarães (2005) e Souza e Gasparetto (2012) são exemplos da aplicação total da EUPS. Já as pesquisas que utilizaram somente as variáveis físicas da Equação Universal de Perdas de Solos podem ser verificadas em Bueno e Stein (2004), Pedro e Lorandi (2004) e Cabral et al. (2005).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo determinar o potencial natural à erosão (PNE) na bacia do rio Jacaré Guaçú com base nos fatores físicos da EUPS, ou seja, erosividade das chuvas (R), declividade do terreno (S), comprimento das rampas (L) e erodibilidade dos solos (K).

1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Jacaré Guaçú, com área aproximada de 4057 km², está localizada à margem direita do rio Tietê na região central do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil (Fig. 1). Integram a bacia hidrográfica os municípios de Nova Europa e Gavião Peixoto e parte dos municípios de São Carlos, Brotas, Analândia, Ribeirão Bonito, Araraquara, Ibaté, Matão, Ibitinga, Itirapina, Tabatinga, Trabiçu, Dourado e Boa Esperança do Sul.

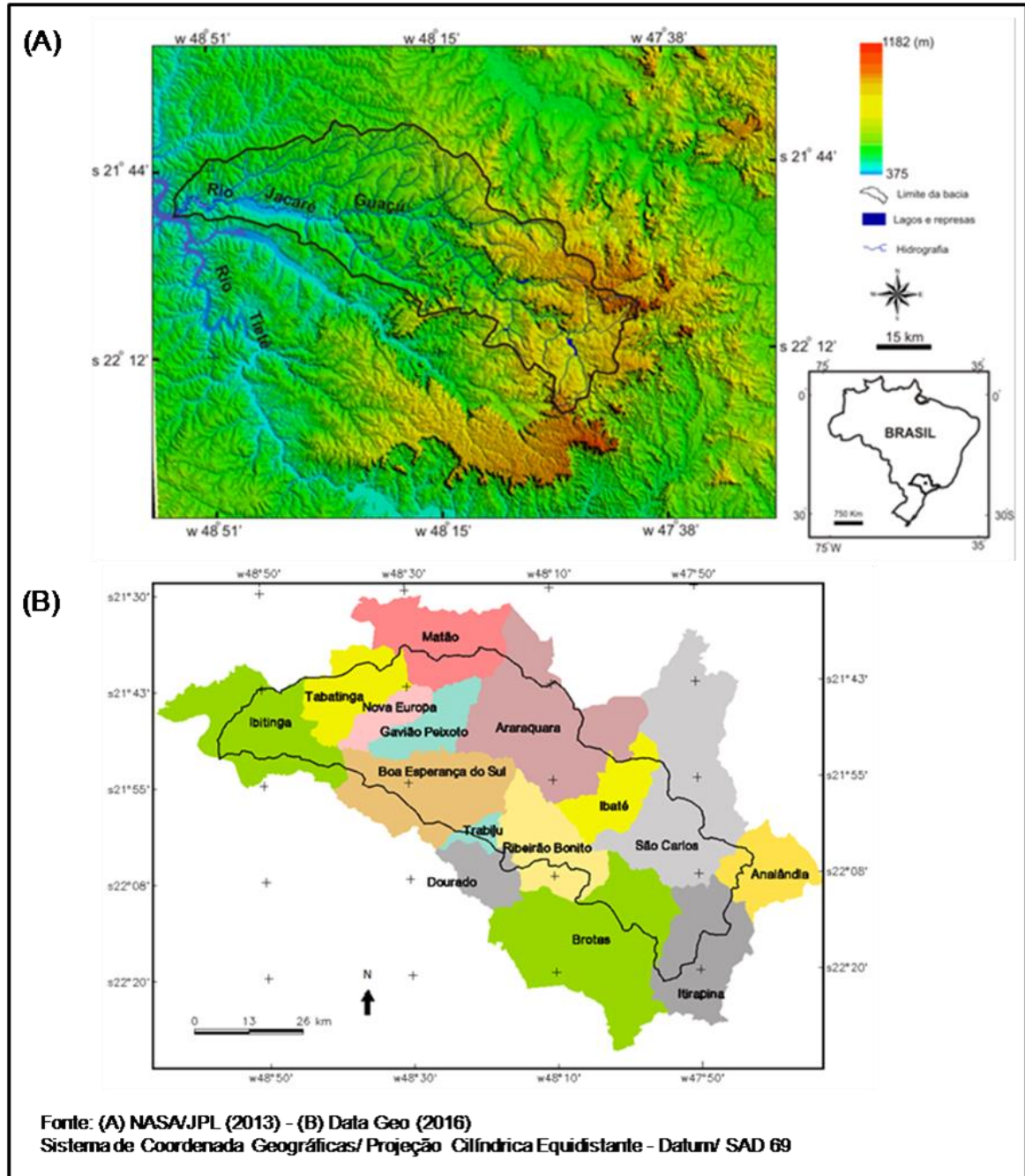


Figura 01 - Localização da bacia do rio Jacaré Guaçu. (A) Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo e de seu entorno. (B) Municípios que compõem a bacia hidrográfica. Elaborado pelos autores.

As principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia estão relacionadas aos setores agropecuário (cana de açúcar, laranja, silvicultura e pecuária bovina), industrial (sobretudo em Araraquara e São Carlos) e comercial junto às áreas urbanas dos municípios.

A área de estudo está sustentada por rochas vulcânicas e sedimentares da bacia

Fanerozóica do Paraná. As formações geológicas predominantes são: Corumbataí, Pirambóia, Botucatu, Serra Geral, Vale do Rio do Peixe, Itaqueri, além de depósitos aluvionares e colúvio elúvionares (PERROTA et al., 2005).

Em relação à Geomorfologia, dentro do contexto da bacia sedimentar do Paraná (morfoestrutura), a bacia hidrográfica localiza-se

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSIÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

na unidade morfoescultural denominada Planalto Ocidental Paulista, subunidades Planalto Residual de São Carlos e Planalto Centro Ocidental (ROSS, MOROZ, 1997).

O Planalto Residual de São Carlos localiza-se nas áreas iniciais do reverso das cuestas, em contato com Depressão Periférica Paulista, a leste da bacia hidrográfica. Predominam nessa subunidade relevos escarpados constituídos por morros testemunhos, amplos, mesas basálticas, encostas sulcadas por vales paralelos e encostas não escarpadas com cânions locais (IPT, 1981). No restante da bacia prevalecem as colinas amplas e médias, com vertentes do tipo convexas, com topos planos e longos e baixa amplitude altimétrica vinculadas ao compartimento do Planalto Centro Ocidental. Mesas basálticas com topos planos ou arredondados com vertentes retilíneas são verificadas no médio e baixo curso da bacia hidrográfica. Pequenas planícies e terraços fluviais aparecem junto ao rio Jacaré Guaçú, principalmente em seu baixo curso. Solos profundos e bem drenados com grande potencial agrícola predominam na bacia hidrográfica. Solos litólicos e hidromórficos também são verificados, sobretudo associados aos condicionantes estruturais e esculturais geomórficos (OLIVEIRA, 1999).

O clima da área de estudo é o tropical alternadamente seco e úmido controlado por massas equatoriais, tropicais e com influência geomorfológica regional da Serra de São Carlos. (MONTEIRO, 1973). O mês mais quente apresenta temperatura média acima de 22°C e no mês mais frio as médias térmicas variam entre 15°C e 18°C (IBGE, 2002). No entanto, devido à variação altimétrica da bacia, os setores mais elevados tendem a apresentar temperaturas inferiores a essas médias ao longo do ano.

A precipitação média anual da região varia entre 1.100 e 1500 mm no Planalto Centro Ocidental e entre 1500 e 2.000mm no Planalto Residual de São Carlos (SANT'ANNA NETO, 1995).

A vegetação predominante remanescente é composta pelo Cerrado disposta, sobretudo no alto curso da bacia hidrográfica e

pela Floresta Estacional Semidecidual que ocupa os setores de menor altitude, junto às redes de drenagens no médio e baixo Jacaré Guaçú (IBGE, 1992).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A estruturação e integração das variáveis físicas do modelo EUPS bem como a determinação do Potencial Natural à Erosão (PNE) da área de estudo foi realizada por meio de rotinas computacionais desenvolvidas no software SPRING 5.2.3 (CAMARA et al., 1996). A descrição desses procedimentos e das metodologias utilizadas para a obtenção individual dessas variáveis é detalhada a seguir:

2.1. FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA (R)

Para o cálculo do fator R da EUPS foram usados dados de pluviosidade (médias mensais e anuais) de 16 postos pluviométricos, dispostos na bacia e em seu entorno, com série de anos compreendida entre 1968 e 1998. Os dados foram compilados do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2012) no endereço eletrônico <http://www.sigrh.sp.gov.br>. Alguns postos pluviométricos apresentaram falhas em seus bancos de dados que foram preenchidos por meio do método da média aritmética proposto por Bertoni e Tucci (1993). Com objetivo de verificar o raio de abrangência dos postos pluviométricos sobre a área de estudo utilizou-se a proposta da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994). A OMM determina em 13,5 km² o raio de influência de um posto pluviométrico em áreas continentais. A Figura 2 exibe a localização dos postos pluviométricos na bacia do rio Jacaré Guaçú e em seu entorno indicados com o prefixo do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). Em azul é representada a área de influência dos postos e em vermelho os locais sem cobertura. Em termos numéricos, 83,2% da bacia está coberta pelos postos pluviométricos utilizados enquanto que o restante, ou seja, 16,8% não sofre influência de alcance das estações.

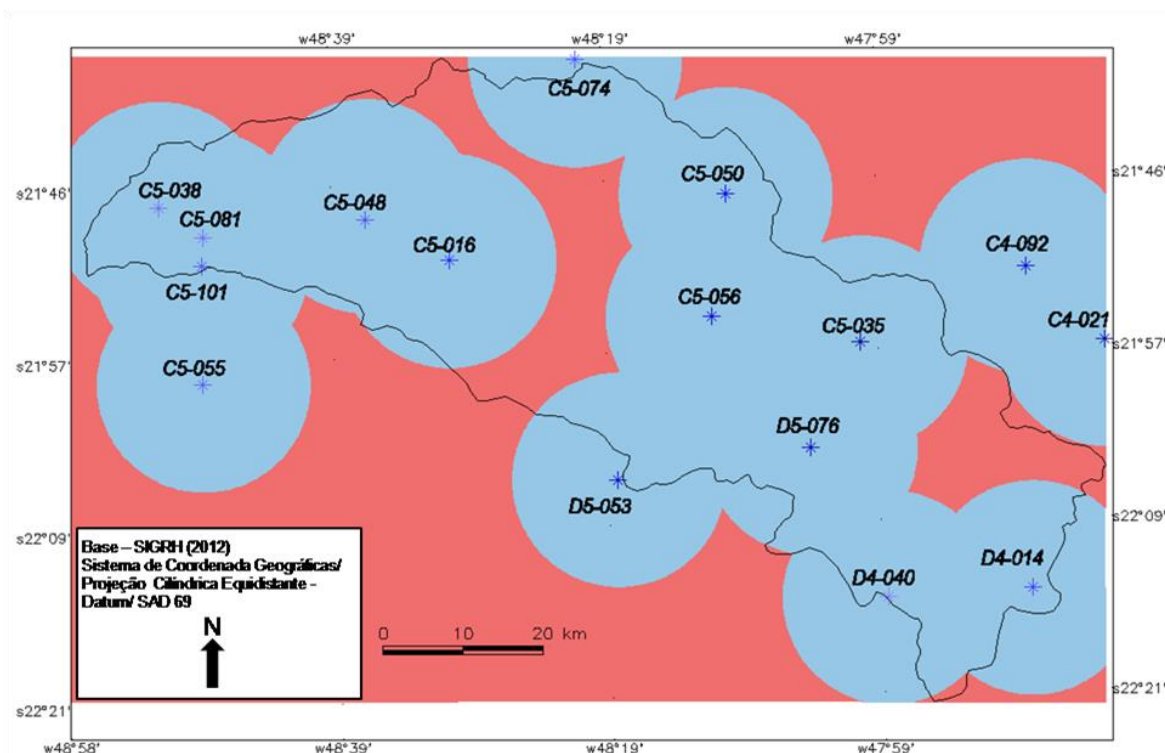


Figura 02 - Localização dos postos pluviométricos presentes na bacia do rio Jacaré Guaçú e em seu entorno. Azul (área de influência do posto pluviométrico); Vermelho (locais sem influência). Elaborado pelos autores.

Para determinar o índice mensal de erosividade de cada posto pluviométrico foi utilizada a equação 2 proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980). A somatória desses valores mensais permitiu definir o valor do fator R anual dos 16 postos pluviométricos estudados.

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

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);

Com isso, no editor vetorial do SPRING, atribuiu-se o valor do índice de erosividade anual de cada posto pluviométrico de acordo com sua localização geográfica. Assim, por meio do interpolador Média Ponderada por Quadrante foi possível gerar uma grade numérica com resolução espacial de 30 m para X e Y e

especializar os valores do fator R anual da bacia hidrográfica.

Com intuito de classificar o fator R da EUPS para os padrões brasileiros em termos qualitativos, de acordo com a proposta de Oliveira (2012), realizou-se uma transformação do plano de informação numérico em temático dividindo a área de estudo em duas categorias: erosividade moderadamente forte e forte.

2.2. FATOR ERODIBILIDADE DOS SOLOS (K)

O fator K da EUPS foi determinado de acordo com alguns procedimentos. Primeiramente, por meio do editor vetorial do SIG digitalizaram-se as classes de solos da área de estudo com base no mapa pedológico do Estado de São Paulo, escala 1:500 000 (OLIVEIRA et al., 1999). Nessa etapa, efetuou-se um ajuste dos dados pedológicos ao MDE (Modelo Digital de Elevação) da área estudo, sobretudo na relação entre as planícies de inundações com os solos hidromórficos e as escarpas festonadas com os solos litólicos. Na sequência, um segundo

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

aprimoramento foi realizado. O mapa de solos do Estado paulista foi organizado com base no primeiro nível categórico (ordem) do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006). No entanto, no boletim técnico 45 do Instituto Agrônomo de Campinas desenvolvido por Oliveira (1999), as classes pedológicas são descritas e identificadas de acordo com a localização dos perfis representativos com o segundo nível categórico (subordem) o que possibilita melhorar sua acurácia. Por exemplo, o mapa compõe em sua legenda o grupo Neossolo que no boletim é subdividido nos subgrupos Litólico, Flúvico e Quartzarênico. Assim, por meio dessas informações contidas no boletim técnico foi possível adequar o mapa de solos a uma classificação de subordem do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, mais compatível à escala deste trabalho.

Após a digitalização e ajuste dos dados foi desenvolvida uma rotina de programação computacional do tipo ponderação na ferramenta LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do SPRING para associar os índices de erodibilidade com as classes pedológicas definidas. Os valores do fator K usados nesta pesquisa foram compilados de Silva e Alvares (2005) que organizaram um banco de dados com informações sobre a erodibilidade das classes de solos contidas do mapa pedológico do Estado de São Paulo, mesma base cartográfica deste trabalho.

Como resultado final, obteve-se uma grade numérica, de resolução espacial X e Y de 30m, com os índices de erodibilidade de cada polígono de solo identificado na área de estudo.

2.3. FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

Para o cálculo do fator topográfico utilizou-se a proposta de Bertoni (1959), conforme descrita na equação 3:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (3)$$

Onde:

LS = Fator topográfico

C = Comprimento da rampa em metros

D = grau de declive em porcentagem

O desenvolvimento das rotinas computacionais no SIG SPRING para o cálculo individual dos fatores L e S bem como para sua integração (LS) teve como base os trabalhos realizados por Tomazoni e Guimarães (2005), Ruthes et al. (2012) e Souza e Gasparetto (2012).

Os dados topográficos da missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (NASA/JPL, 2013) foram utilizados como base altimétrica para a geração das variáveis.

Inicialmente, geraram-se as isolinhas topográficas equidistantes em 20m tendo como base os pontos altimétricos cotados dos dados SRTM. Em seguida, gerou-se uma grade triangular (TIN) que foi armazenada em um modelo de dados Numérico do SIG. A grade numérica declividade (fator S) foi obtida por meio da função MNT – Declividade do SPRING. Nesse procedimento, a grade triangular (TIN) gerada na etapa anterior serviu como dado de entrada, a unidade Porcentagem e as resoluções X e Y de 30m foram definidas como atributos de saída dos dados.

Para a elaboração do fator L da EUPS, primeiramente, utilizou-se o editor Temático do SIG para digitalizar os interflúvios principais e secundários da bacia hidrográfica. Na função “mapa de distâncias” do ícone MNT do SPRING, após atribuir o valor de 0m para os divisores topográficos e definir a rede de drenagem como linha de quebra, gerou-se a grade numérica retangular com o comprimento de rampa (fator L) da área de estudo, com resolução espacial X e Y de 30m. Esse plano de informação foi armazenado no modelo de dados Numérico do software adotado.

A variável topográfica (LS), usada para compor o cálculo do PNE, foi obtida através da integração das duas grades numéricas L e S. Por meio da elaboração de uma rotina de programação do tipo numérica no editor LEGAL do SPRING aplicou-se a equação 3 e obteve-se a referida grade (LS) com resolução X e Y de 30m. A

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSIÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

grade numérica LS foi transformada em um plano de informação temático com o objetivo de verificar a relação visual entre a distribuição espacial do fator topográfico com os dados de erodibilidade, erosividade e Potencial Natural à Erosão. O fatiamento da legenda não obedeceu a um critério pré-estabelecido, o intuito desse procedimento foi simplesmente separar as classes em ordem crescente.

K = Fator erodibilidade do solo, t/ha/(Mj.mm/ha.h)

L = Fator comprimento de rampa (adimensional)

S = Fator grau de declive do terreno (adimensional)

Em termos práticos, o software utiliza as grades numéricas de cada variável do modelo determinadas nas etapas descritas anteriormente para a operação matemática. Os valores numéricos de PNE foram transformados em classes qualitativas de perdas de solo com base no trabalho de Pedro e Lorandri (2004). Assim, definiram-se as seguintes categorias de Potencial Natural à Erosão: Muito Baixo (0-50 ton ha⁻¹ ano⁻¹), Baixo (50-100 ton ha⁻¹ ano⁻¹), Médio (100-200 ton ha⁻¹ ano⁻¹), Alto (200-600 ton ha⁻¹ ano⁻¹), Muito Alto (600-1000 ton ha⁻¹ ano⁻¹) e Extremamente Alto (>1000 ton ha⁻¹ ano⁻¹). A figura 3 exibe o fluxograma com a estruturação do banco de dados e rotinas computacionais desenvolvidas no editor LEGAL do SPRING para a elaboração do trabalho.

2.3. POTENCIAL NATURAL À EROSIÃO (PNE)

O Mapa de Potencial Natural à Erosão laminar (PNE) foi construído a partir da integração dos fatores naturais que compõem a EUPS (WISCHMEIER, SMITH, 1978). Por meio de operadores matemáticos pontuais dispostos no programador LEGAL do SPRING foi executada a equação 4:

$$PNE = RKLS \tag{4}$$

Onde:

PNE = Potencial Natural à Erosão laminar em t/ha.ano.

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

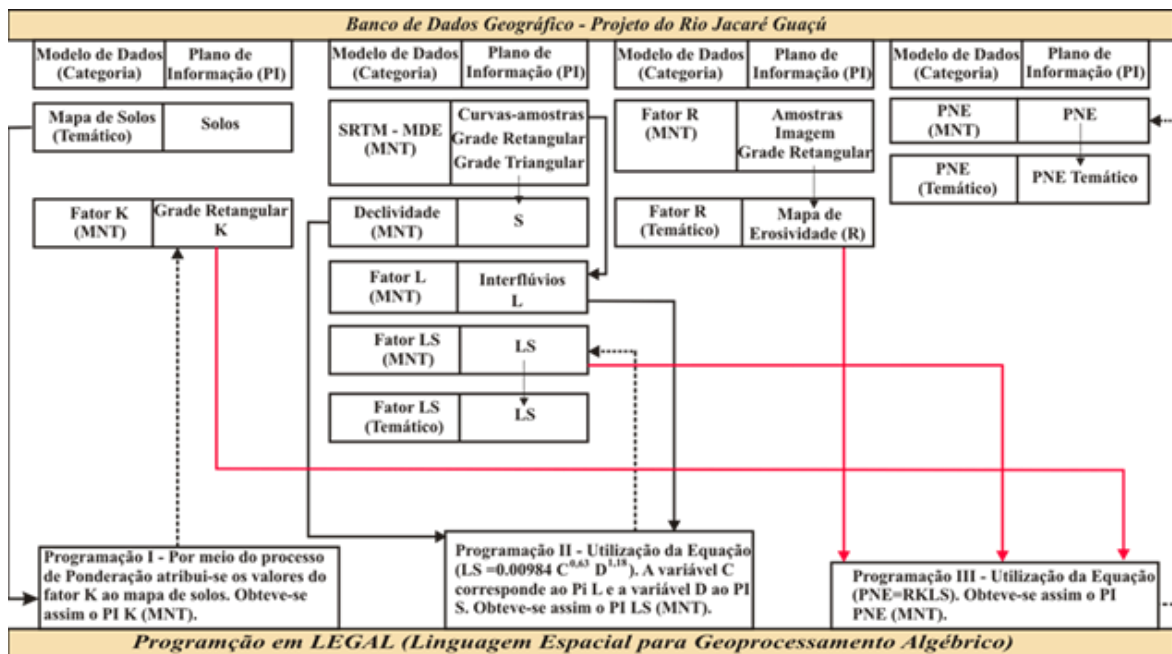


Figura 03 - Fluxograma com estruturação do banco de dados e rotinas computacionais desenvolvidas no trabalho. Elaborado pelos autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. FATOR EROSIVIDADE

A Figura 4 exibe a distribuição espacial do índice de erosividade na área de estudo.

Verifica-se que os maiores valores do fator R da EUPS estão dispostos no médio curso

da bacia. Os valores menos acentuados ocorrem tanto no baixo quanto no alto curso da bacia de drenagem.

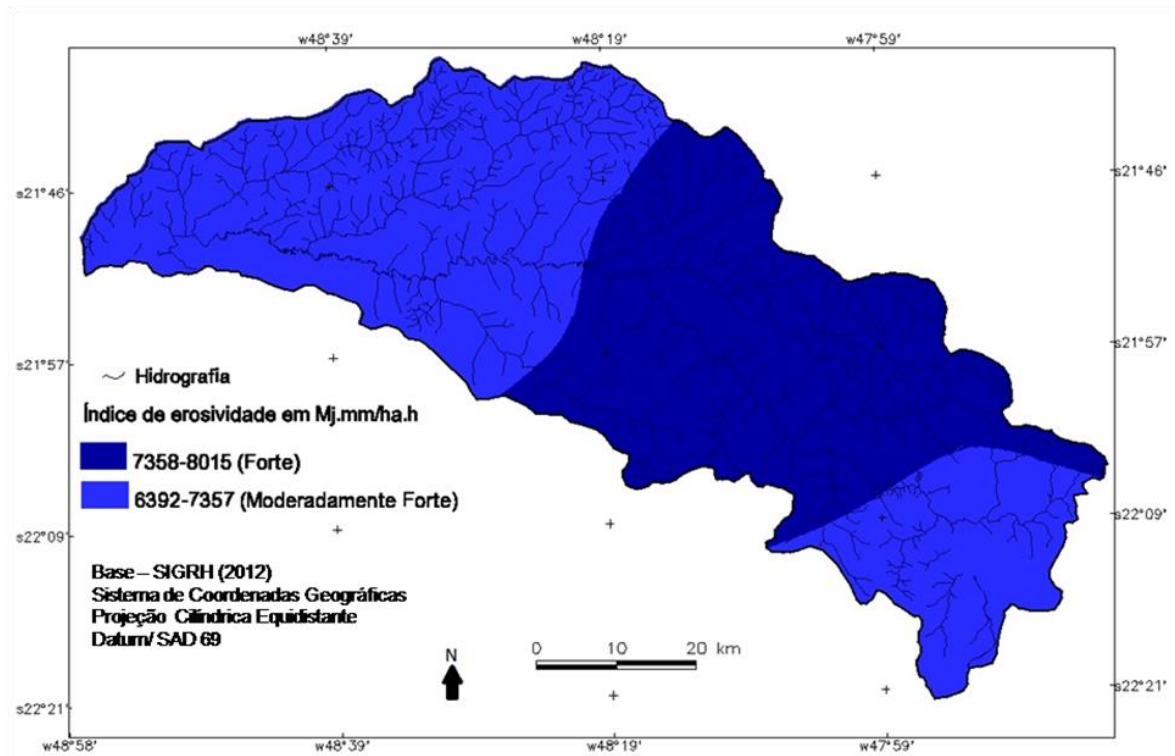


Figura 04 - Distribuição espacial do índice de erosividade da área de estudo. Elaborado pelos autores.

A Tabela 1 demonstra a área ocupada e o percentil de ocupação do índice de erosividade na bacia do rio Jacaré Guaçu. Verifica-se que mais da metade da bacia, ou seja, 57,0% apresenta valores dispostos entre 6392 e 7357 MJ.mm/ha.h. Os valores compreendidos entre 7358 e 8015 ocupam 1746,4 km² que representa 43,0% do total da área de estudo.

Tabela 01 - Área ocupada pelas classes do índice de erosividade.

Índice de erosividade em MJ.mm/ha.h	Área em km ²	%
6392-7357	2311,3	57
7358-8015	1746,4	43
Total	4057,3	100

Os valores de erosividade determinados para a área de estudo são considerados moderadamente forte (4095 a 7357 MJ.mm/ha.h) e forte (7357 a 9810 MJ.mm/ha.h) para os padrões brasileiros, de acordo com a classificação de Oliveira et al. (2012).

3.2. FATOR ERODIBILIDADE

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSIÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

A figura 5 exibe a distribuição espacial das classes de solos da bacia hidrográfica.

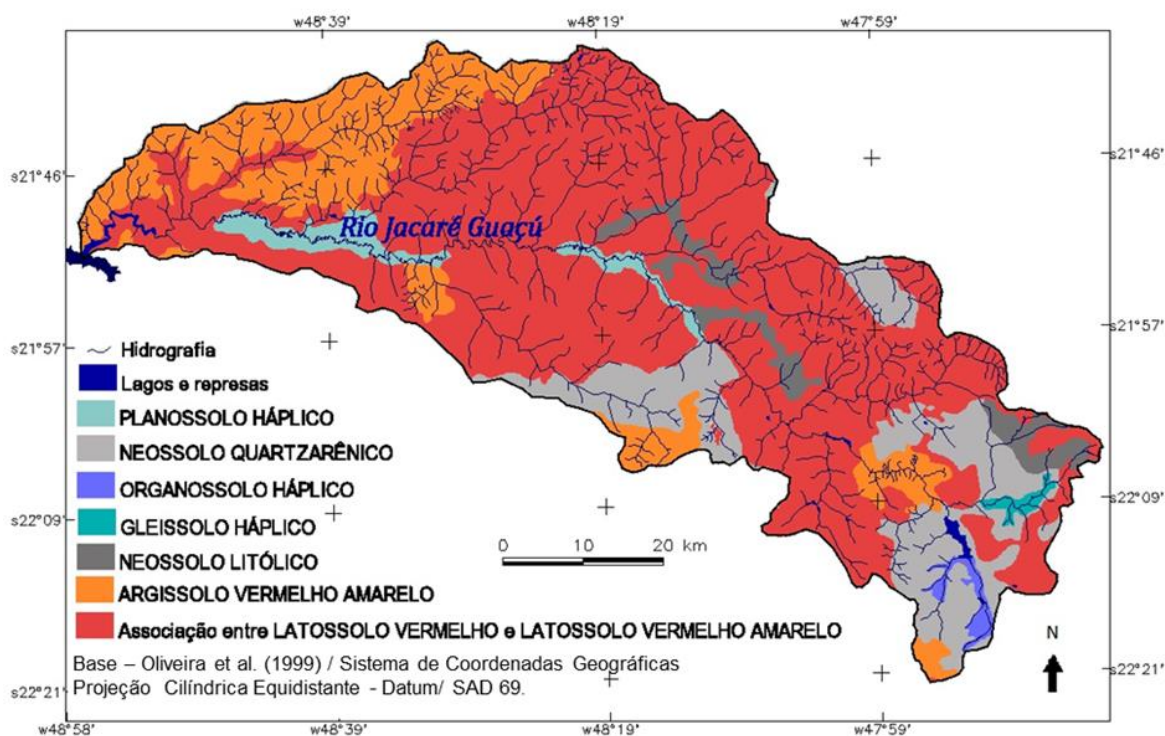


Figura 05 - Classes de solos verificadas na área de estudo. Elaborado pelos autores.

De acordo com Oliveira (1999) as classes de solos presentes na área de estudo apresentam as seguintes características: o Latossolo Vermelho e o Latossolo Vermelho Amarelo que ocupam a maior parte da bacia apresentam textura que variam de argilosa a média e estão dispostas sobre relevo suavemente ondulado e ondulado. Em algumas situações, o Latossolo Vermelho Amarelo está associado ao relevo fortemente ondulado.

O Argissolo Vermelho Amarelo possui maior representatividade no baixo curso da área de estudo. Ocorre também em alguns setores do alto e médio curso. Apresenta textura que varia de arenosa a média e está associado ao relevo plano, suave ondulado e ondulado.

O Gleissolo Háplico, disposto no alto Jacaré Guaçú, apresenta coloração cinza, textura argilosa e associa-se a uma pequena planície de inundação do Ribeirão do Feijão. Ainda no alto curso da bacia hidrográfica, vinculado ao relevo plano de várzea, próximo à represa do Lobo e

com textura arenosa ocorre o Organossolo Háplico.

O Neossolo Quartzarênico apresenta textura média e associa-se ao relevo plano e suavemente ondulado do alto e médio curso da bacia hidrográfica. Já o Neossolo Litólico vincula-se ao relevo escarpado e fortemente ondulado do alto e médio Jacaré Guaçú. A textura varia de argilosa para os litólicos a média e arenosa para os quartzarênicos.

O Planossolo Háplico, com textura média a arenosa, ocorre em uma planície de inundação do baixo curso do rio Jacaré Guaçú.

A tabela 2 exibe a área ocupada pelas classes de solos da área de estudo e os correspondentes índice de erodibilidade em t.ha (MJ/ha.mm/h). Pode-se verificar que, respectivamente, a maior representatividade areal ocorre com as seguintes classes de solos: associação entre Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico,

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

Planossolo Háplico, Organossolo Háplico e Gleissolo Háplico.

Tabela 02 - Área ocupada pelas classes de solos na bacia e seus respectivos fator K compilados de Silva e Alvares (2005) em t.ha/ (MJ/ha.mm/h).

Classes de solos	Fator K	Área em km ²	%
PlanossoloHáplico	0,0097	111,9	2,7
NeossoloQuartzarênico	0,0351	523,4	13,0
OrganossoloHáplico	0,0610	26,2	0,6
GleissoloHáplico	0,0361	17,0	0,4
NeossoloLitólico	0,0351	127,7	3,1
Argissolo Vermelho Amarelo	0,0425	643,6	15,9
LatossoloVerm./ LatossoloVerm. Ama.	0,0162	2593,5	64,0
Lagos e represas	-	14,5	0,3
Total	-	4057,3	100

Em termos qualitativos de acordo com a classificação de Carvalho (1994) os solos apresentam a seguinte categorização: Alta Erodibilidade > 0,0358 t.ha/ (MJ/ha.mm/h): Gleissolo Háplico, Organossolo Háplico e Argissolo Vermelho Amarelo; Média Erodibilidade 0,01529 – 0,03058 t.ha/ (MJ/ha.mm/h): Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo; Baixa Erodibilidade < 0,01529 t.ha/ (MJ/ha.mm/h) – Planossolo Háplico. Nesse sentido, em termos de porcentagem de área de ocupação das classes de solos verifica-se que 20% dos materiais apresentam erodibilidade alta, 77% média e somente 2,7% baixa.

Apesar da limitação existente na escala do mapa pedológico adotado como base para esse trabalho a maior parte dos solos identificados na bacia apresentam alta e média

erodibilidade (97%). Portanto, pode-se afirmar que o detalhamento dos níveis categóricos das classes pedológicas com uma escala maior seria importante, mas não impactaria de forma significativa nos valores do PNE obtidos nessa pesquisa. Isso decorreria da pequena variação que ocorreria nos índices do fator K da EUPS que seriam atribuídas para classes de solos em um eventual mapa pedológico de escala mais detalhada, ou seja, possivelmente ocorreria uma variabilidade espacial, mas não numérica.

3.3. FATOR TOPOGRÁFICO

Em relação à distribuição espacial do fator LS da área de estudo, verifica-se na figura 5 que os valores compreendidos entre 0 e 2 ocorrem em toda a bacia hidrográfica. Estão associados aos interflúvios das vertentes, às baixas declividades e às pequenas planícies do rio Jacaré Guaçu.

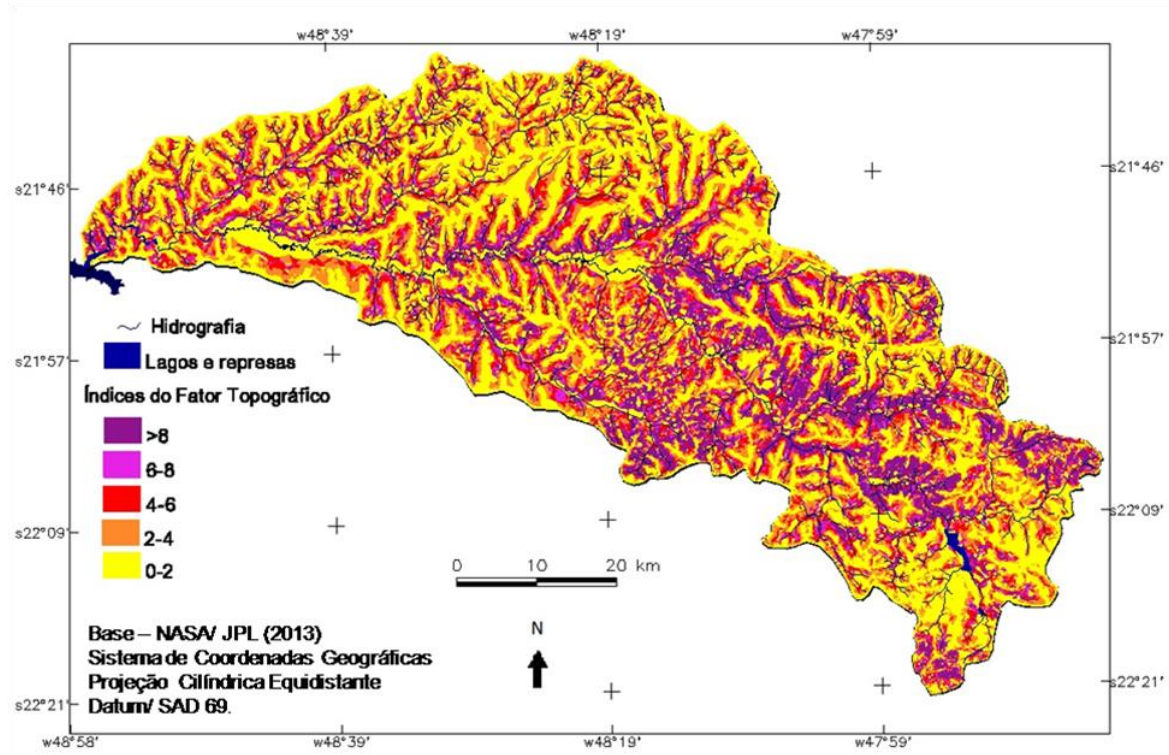


Figura 05. Distribuição espacial do índice topográfico da bacia hidrográfica.

Os valores dispostos entre 2 e 4 e 4 e 6 também aparecem em toda bacia. Estão relacionados ao terço inferior e médio das vertentes e às declividades intermediárias. Os maiores valores do fator topográfico, ou seja, compreendidos entre 6 e 8 e maiores que 8 aparecem mais no alto e médio curso da bacia hidrográfica, associados aos altos declives, ao terço inferior das vertentes e ao relevo escarpado das cuestas.

Na tabela 3 é possível verificar a área ocupada pelas classes do fator LS da EUPS bem como sua porcentagem de distribuição. Verifica-se que 41% do total da área de estudo apresenta valores compreendidos entre 0 e 2. Os valores dispostos entre 2 e 4 e 4 e 6 ocupam 1565,3 km² da bacia hidrográfica que representa 38,6% do total da área de estudo. Os valores mais acentuados, acima de 8, ocupam 493,2 km² da bacia hidrográfica.

Tabela 03. Área ocupada pelo índice do Fator Topográfico.

Fator Topográfico	Área em km ²	%
0-2	1663,0	41,0
2-4	944,0	23,3
4-6	621,3	15,3
6-8	321,3	8,0
>8	493,2	12,1
Lagos e represas	14,5	0,3
Total	4057,3	100

3.4. POTENCIAL NATURAL À EROÇÃO

Na área de estudo ocorre o predomínio de PNE alto, muito baixo, extremamente alto, muito alto, médio e baixo. A tabela 4 exibe a área

e o percentil de ocupação das categorias estabelecidas para a classificação do Potencial Natural à Erosão.

Tabela 04. Área ocupada pelas classes do PNE na bacia do rio Jacaré Guaçú.

Classes	Área km ²	(%)
0-50 (Muito Baixo)	993,5	24,5
50-100 (Baixo)	103,7	2,5
100-200 (Médio)	286,87	7,0
200-600 (Alto)	1236,6	30,5
600-1000 (Muito Alto)	612,0	15,1
>1000 (Extremamente Alto)	810,2	20,0
Lagos e represas	14,5	0,3
Total	4057,3	100

A distribuição dos valores obtidos é variada (Fig. 6). O PNE classificado como muito baixo, baixo, médio e alto ocorrem por toda área de estudo.

Aproximadamente um quarto da área da bacia apresenta Potencial Natural à Erosão Muito

Baixo. Esses locais estão vinculados ao fator LS compreendido entre 0 e 2, dispostos sobre todas as classes de solos, com destaque para o Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo e Planossolo Háplico.

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

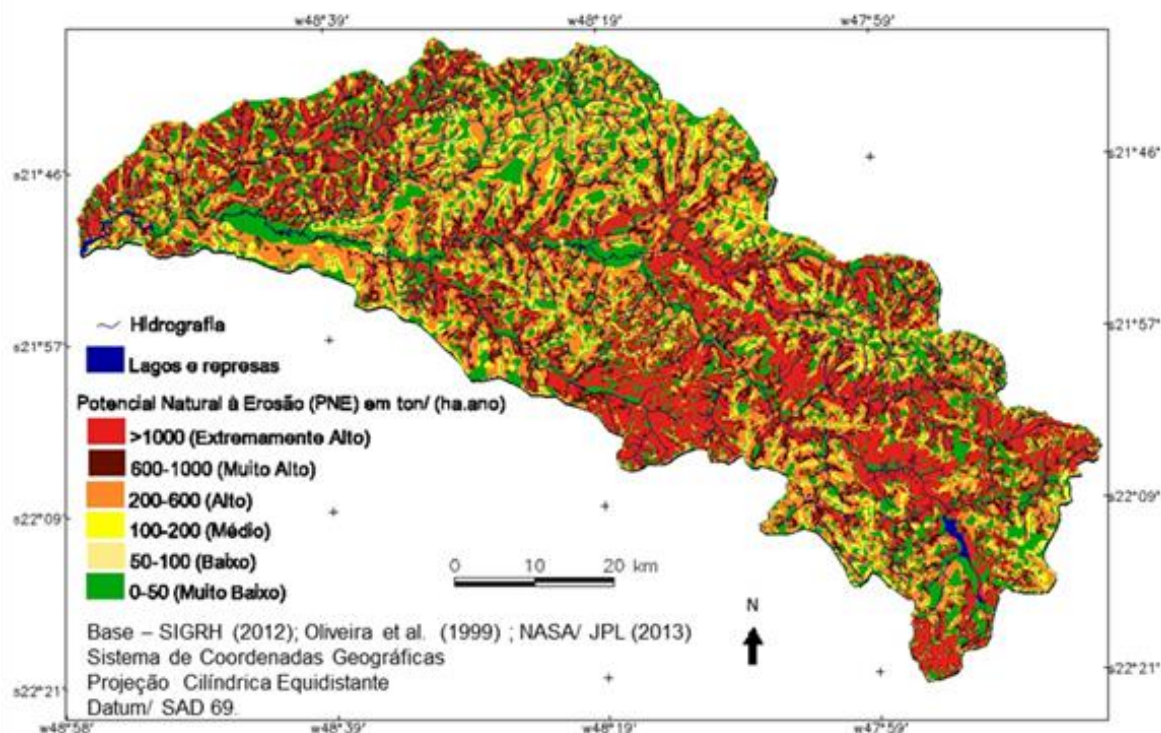


Figura 06. Potencial Natural à Erosão da área de estudo. Elaborado pelos autores..

O PNE Baixo também ocorre sobre fator topográfico 0 e 2, no entanto, não possui representatividade no Organossolo, Gleissolo e Neossolo Litólico. Essa categoria vincula-se, sobretudo ao Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo com erodibilidade média. A mesma situação pedológica ocorre com o PNE Médio que difere das características da categoria anterior simplesmente por estar associado ao fator LS compreendido, sobretudo entre 2 e 4. Ambas as classe de PNE (Baixo e Médio) ocupam menos de 10% do total da bacia do rio Jacaré Guaçú.

O Potencial Natural à Erosão Alto, que ocupa aproximadamente um terço da bacia hidrográfica, ocorre sobre todas as classes do fator LS, com destaque para as categorias dispostas entre 2 e 4, 4 e 6 e <2, respectivamente. Todas as classes de solos estão vinculadas a esse PNE, sobretudo o Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho Amarelo. As duas categorias de erosividade definidas (forte e moderadamente forte) vinculam-se a essa classificação.

A distribuição das classes de PNE Muito Alto e Extremamente Alto ocorre, sobretudo em setores do leste, sul, centro e oeste da bacia do rio Jacaré Guaçú. As duas classes ocupam pouco mais de 35% do total da área da bacia. É perceptível a relação (Figuras 4 e 7) entre essas classes de PNE e os locais dispostos sobre o Neossolo Quartzarênico, Litólico, Organossolo Háplico e Argissolo Vermelho Amarelo que apresentaram os maiores índices de erodibilidade (Tabela 2). Os Neossolos apresentam fator K classificado como médio, no entanto seu índice que é de 0,03051 t.ha/ (MJ/ha.mm/h) é muito próximo ao limiar que determina a alta erodibilidade, ou seja, > 0,03058 t.ha/ (MJ/ha.mm/h). Já o Argissolo Vermelho Amarelo, os Neossolos e o Organossolo Háplico apresentam alta erodibilidade.

Em relação ao fator topográfico, o PNE Muito Alto e Extremamente Alto vinculam-se aos índices LS compreendido entre 6 e 8, 4 e 6, 2 e 4 e >8 dispostos no terço inferior das vertentes, nas escarpas festonadas, mesas basálticas, no morros amplos e arredondados.

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSIÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

Em relação à erosividade, ambas as classes (forte e moderadamente forte) estão relacionadas ao Potencial Natural à Erosão Muito Alto e Extremamente Alto.

Os resultados alcançados são importantes, uma vez que podem auxiliar os órgãos responsáveis pelo gerenciamento do uso da terra na bacia hidrográfica.

Recomenda-se aqui uma atenção especial ao alto e médio Jacaré Guaçú que assim como boa parte da região central do estado de São Paulo apresentam uma ampliação nas áreas destinadas ao cultivo temporário da cana de açúcar (RUDORF et al., 2010). Nesses compartimentos, além da existência dos maiores índices de erosividade estão dispostos os Neossolos Quartzarênicos que são classificados com média erodibilidade e, se manejados de forma inadequada, podem apresentar processos erosivos conforme detalhado por Sales et al. (2010).

4. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e os resultados alcançados têm-se as seguintes conclusões:

1. A área de estudo está inserida em uma região com grande potencial de ocorrência de erosão pluvial. Os índices de erosividade anual determinados para a bacia hidrográfica podem ser classificados como moderadamente forte e forte para os padrões brasileiros.

2. As classes de solos existentes na bacia do rio Jacaré Guaçú apresentaram índice de erodibilidade variado. No entanto, grande parte da área de estudo (80,1%) está disposta sobre os Latossolos e Neossolos, onde o fator K é médio e sobre o Gleissolo Háplico, Organossolo Háplico e Argissolo Vermelho Amarelo, que computam 16,9% do total da área da bacia hidrográfica e apresentam alta erodibilidade.

3. Os procedimentos desenvolvidos sobre os dados da missão SRTM evidenciam que o fator LS <4 predomina em mais de 60% da área da bacia hidrográfica. Os locais classificados acima desse valor estão associados, sobretudo ao relevo escarpado, morros testemunhos, às

encostas sulcadas por vales paralelos e mesas basálticas.

4. Em relação ao PNE, dentre as classes definidas, destacam-se os locais classificados com alto, muito baixo, extremamente alto e muito alto potencial, com representatividade em mais de 90% da área de estudo. Os locais com PNE médio e baixo ocupam menos de 10% da bacia hidrográfica.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo de acordo com o processo 141662/2013-1 e ao Projeto PROCAD/CAPES, Edital 71/2013.

6. REFERÊNCIAS

- BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia. IAC, Campinas. v.18 (1) . p.113-140, 1959.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993. 5. p. 177-242.
- BISSIONAIS, Y.L.; MONTIER, C.; JAMAGNE, M.; DAROUSSIN, J.; KING, D.; **Mapping erosion risk for cultivated soil in France**. Catena, n.46, p. 207-220, 2001.
- BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. **Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo**. Acta Scientiarum Agronomy. v. 26, n.1, p.1-5. 2005.
- CABECAUER, T.; HOFIERKA, J. **The consequences of land cover changes on soil erosion distribution in Slovakia**. *Geomorphology*. n.98 p. 187-198. 2008.
- CABRAL, J.B.P; BECEGATO, V.A.; SCOPEL, I.; LOPES, R.M. **Uso de técnicas de Geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG**. Revista Ra'eGA. n. 10, p. 107-116. 2005.
- CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **SPRING: Interacting remote sensing and GIS byobject-oriented data modelling**.

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL À EROSIÃO LAMINAR NA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

- Computers & Graphics, v.20 n.3, p. 395-403, 1996.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), 1994.
- DATAGEO – SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA. Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo. Disponível em <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em: 06 dez. 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT, Escala 1: 1000000. São Paulo: IPT, v1. 1981.
- LAMBIN, E.F. **Modelling deforestation processes: a review**. Luxemburgo. European Commission, 1994.
- LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP**. *Bragantia*, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo: estudo em forma de atlas**. São Paulo: USP/Igeo, 1973.
- MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Londres. Blackwell Publishing. 1995.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. JET PROPULSION LABORATORY. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 21 set. 2013.
- OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas, Instituto Agrônomo/ Boletim Científico 45, 1999.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas, Instituto Agrônomo/ EMBRAPA Solos. 1999.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. **Rainfall erosivity in Brazil: a review**. *Catena*, v.100, n.1, p.139-147. 2012.
- PARANHOS FILHO, A.C.; FIORI, A.P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. **Avaliação multitemporal das perdas dos solos na bacia do rio Taquarizinho através de SIG**. Boletim Paranaense de Geociências. n.52, p. 49-59. 2003.
- PRADO, J.P.B; NÓBREGA, M.T. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. *Acta Scientiarum Technology*. v.1 p. 33-42. 2005.
- PEDRO, F. G.; LORANDI, R. **Potencial Natural de Erosão na área periurbana de São Carlos – SP**. *Revista Brasileira de Cartografia*. n.56. p. 28 – 33. 2004.
- PERROTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES,R.C; D’AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOEMS, S.D.; SACHS, L.L.B; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, G.V. **Mapa Geológico do estado de São Paulo, escala 1:750000**. Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo, 2005.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, n.10, p.41-56, 1996.
- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. **Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data**. *Remote Sensing*. v. 2 .n 4, p.1057-1076. 2010.
- RUTHES, J.M.; TOMAZONI. J.C.; GUIMARÃES. E.; GOMES.T.C. **Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 5, p. 1099 – 1199. 2012.
- SILVA, A.M.; ALVARES, C.A. **Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo**. *Geociências*, Rio Claro, v.24, n.1, p.33-42, 2005.
- SALES, L.E.O.; CARNEIRO, M.A.; SEVERIANO, E.C. OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, M. M. **Qualidade física**

de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, n. 3, p. 667-674. 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica.** 1995. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras, Artes e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO - SIGRH. Banco de dados Fluviométricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/flu/>. Acesso em: 16 ago. 2012.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N.V.L. **Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná.** Revista Brasileira de Geomorfologia. v.13 n.3 p.267-278. 2012.