A Importância da Geração do Fator Topográfico (LS) da EUPS para Modelagem Erosiva de Bacia Hidrográfica

Leandro de Souza Pinheiro[1]
Cenira Maria Lupinacci da Cunha[2]

Resumo

A erosão é um grande problema para a sociedade e resulta em problemas ambientais e econômicos. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar e identificar, através da elaboração e interpretação do Mapa de Fator Topográfico (Fator LS) da EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo) em ambiente computacional, setores potencialmente susceptíveis aos processos erosivos na Bacia do Córrego Ibitinga na cidade de Rio Claro (Brasil - SP). Nos procedimentos metodológicos, é utilizada a abordagem sistêmica, onde o relevo e os seus componentes são analisados de forma integrada. Para a elaboração da Carta é necessária a criação das Cartas de Extensão de Vertentes e Classes de Declividade e, posteriormente cruzamento em ambiente GIS, produzindo a Carta de Fator Topográfico que indica os setores mais susceptíveis à dinâmica erosiva. Observou-se que as linhas de cumeada são suaves e possuem baixas vulnerabilidades erosivas. No entanto, uma ruptura topográfica representa uma diferenciação erosiva e aumento da declividade, gerando suscetibilidade do setor à erosão. Este maior potencial de erosão produz-se nos altos cursos d' água e também acompanhando toda a linha de ruptura topográfica que contorna o lado esquerdo do curso principal.

Palavras Chaves: Erosão, extensão de vertentes, declividade, SIG, EUPS.

L'Importance de la Génération du Facteur Topographique (LS) de USLE pour Modelage Érosif de Bassin Hydrographique

Résumé

L'érosion est un grand problème pour la société et résulte dans des problèmes environnementaux et économiques. Ainsi, présent travail a objectif analyser et identifier, à

[1] Pós-Graduação em Geografia (Mestrando) – Depto de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro/SP (Brasil). Professor da Universidade do Estado de Minas Gerais. E-mail: bandopinheiro@yahoo.com.br

[2] Prof[a]. Dr[a] – Depto de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro/SP (Brasil). E-mail: cenira@rc.unesp.br

travers l'élaboration et l'interprétation de la Carte de Facteur Topographique (Facteur LS) de USLE (Universal Soil Loss Equation) dans environnement informatique, secteurs potentiellement susceptibles aux processus érosifs dans le Bassin du Ravin Ibitinga dans la ville de Rio Claro (Brésil - SP). Dans les procédures méthodologiques, s'est utilisée de l'abordage de systèmes, où le relief et leurs composantes sont analysés de forme intégrée. Pour l'élaboration de la carte c'est nécessaire à création des Cartes d'Extension de Versants et de la Carte de Classes de Déclivité et, postérieur croisement à environnement GIS, en produisant la Carte de Facteur Topographique qui indique les secteurs le plus susceptible à la dynamique érosive. Il s'est remarqué que les lignes de partage des eaux saine douces et possèdent basse susceptibilade. Néanmoins, une rupture topographique représente une différenciation érosive et augmentation de la déclivité, en élevant à vulnérabilité du secteur. Ce plus grand potentiel de l'érosion se produit dans les hauts cours d'eau et aussi en accompagnant toute la ligne de rupture topographique qui longe le côté gauche du cours principal.

mots clés : Érosion, extension de versants, déclivité, GIS, USLE

Introdução

A erosão acelerada trata-se de um problema antigo para a sociedade, no entanto a preocupação relativa a esse tema é mais recente, mesmo que ainda seja insuficiente. Atualmente, é notório que o carreamento de sedimentos dos interflúvios resulta em problemas ambientais e econômicos. Assim, as pesquisas relacionadas aos processos erosivos estão sendo cada vez mais importantes, à medida que se tornam necessárias para o Planejamento Territorial.

Nesta pesquisa considerou-se a importância dos estudos preditivos e prognósticos para os processos erosivos como auxiliador nas pesquisas ambientais envolvendo a perda de solos. O conhecimento geomorfológico aliado ao conhecimento mais amplo do meio físico, de seus recursos de água, solo e clima, suas potencialidades e limitações, constitui a base técnica sobre a qual o poder público deve estabelecer o processo de planejamento territorial.

Os modelos de predição à erosão são muito importantes, pois permitem de antemão prever impactos ambientais que podem interferir, de maneira drástica, nos ambientes naturais ou antrópicos, permitem ainda minimizar desperdícios econômicos causados pela perda de solo (PINHEIRO, 2008).

Como um dos componentes da EUPS, proposta por Wischmeier (1962), o fator LS interfere na dinâmica erosiva através do comprimento da vertente e da inclinação do relevo, são fatores fundamentais para a compreensão do processo do escoamento hídrico superficial. Por isso, torna-se extremamente indispensável o Planejamento Ambiental, através de um manejo adequado possibilitando a redução de impactos ambientais, maiores ganhos na esfera econômica e a conscientização social.

Para tanto o geoprocessamento surge como uma alternativa para a otimização do tempo de execução do trabalho proposto. No entanto, para confiabilidade dos resultados, é necessário o conhecimento científico pertinente a temática erosiva, pois os resultados devem ser, após a elaboração do mapa, interpretados e analisados para evitar informações errôneas ou discrepantes.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar e identificar, através da elaboração e interpretação da Carta de Fator Topográfico (Fator LS) da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) em ambiente computacional, áreas potencialmente susceptíveis aos processos erosivos na Bacia do Córrego Ibitinga no município de Rio Claro (Brasil - SP). Gerada através do geoprocessamento, utilizando os softwares AutoCAD, Spring e Idrisi para a geração do produto cartográfico final. Não obstante, este trabalho destaca a importância do comprimento de vertentes exercida sobre a modelagem erosiva.

Localização e Caracterização da Área

A área de estudo – a Bacia do Córrego Ibitinga – está totalmente inserida no município de Rio Claro (SP) e em parte na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) (Figura 1). A bacia possui área de 1070 ha e 34% da área localiza-se no interior da FEENA, representando uma área de cerca de 24% da totalidade desta Unidade de Conservação.

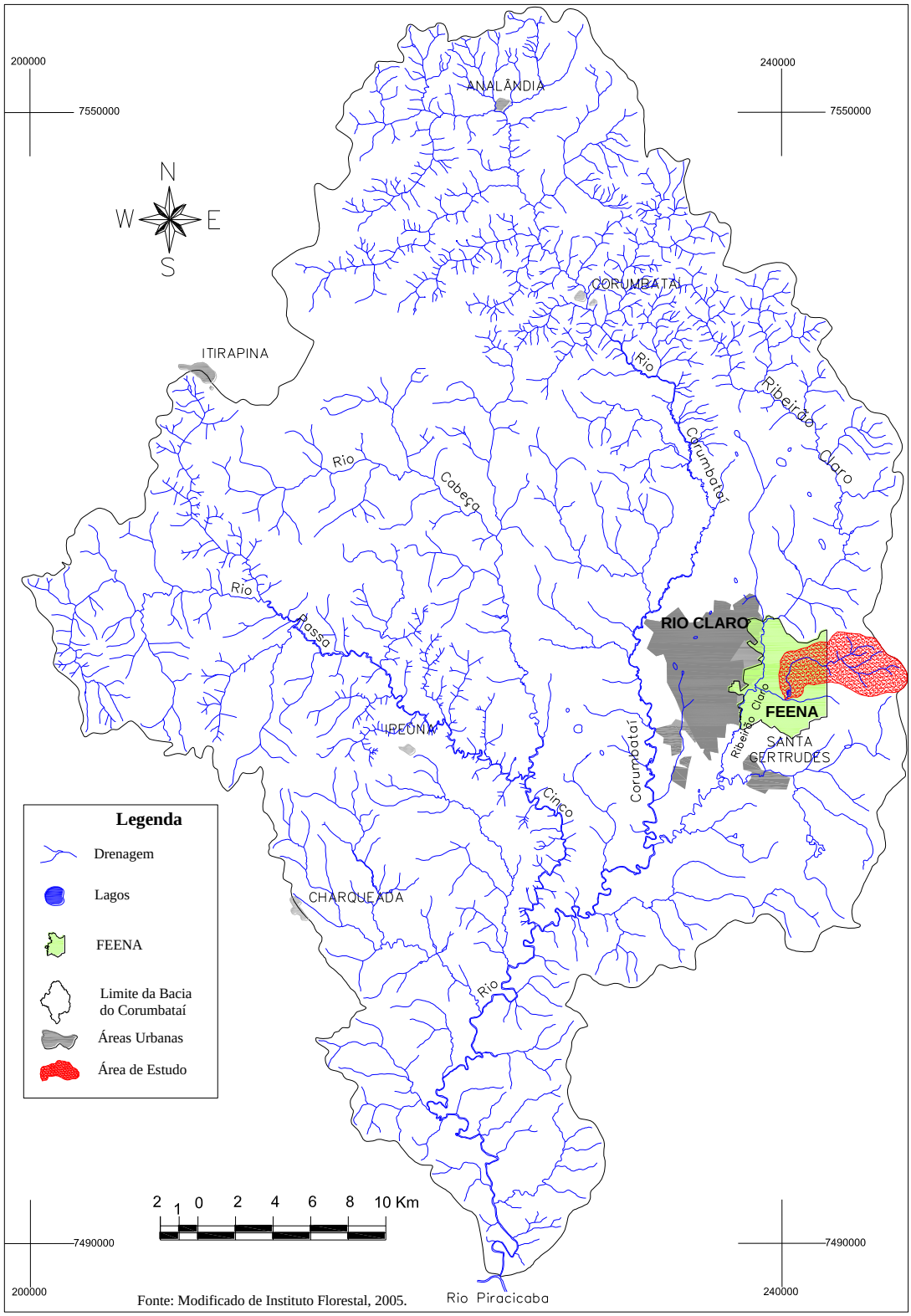
Por se tratar de uma Unidade de exploração sustentável a grande maioria da vegetação da FEENA é composta por espécies de *Eucaliptus*, mas existem ainda área de vegetação natural consideradas pela administração como áreas de conservação.

O Córrego Ibitinga possui seu curso final dentro dos limites da FEENA, porém suas nascentes estão localizadas externamente, em área rural, neste local a vulnerabilidade erosiva é aparente, como verificou Machi (2005) através dos diversos sulcos erosivos e até mesmo a interrupção do canal. Atravessando a FEENA no sentido NE-SW, o Córrego do

Ibitinga desemboca no Córrego Santo Antônio, que por sua vez conflui com o Ribeirão Claro, responsável pelo abastecimento hídrico da cidade de Rio Claro. O Ribeirão Claro deságua no Rio Corumbataí, na porção final o Córrego Ibitinga é represado e dá origem a um açude localizado no interior da FEENA.

Concernente à Geomorfologia, a área de estudo localiza-se na Depressão Periférica Paulista, na Zona do Médio Tietê (ALMEIDA, 1974).

Esta unidade geomorfológica tem sua origem vinculada ao estabelecimento de uma zona de fraqueza estrutural no contato entre as litologias sedimentares vinculadas à Bacia Sedimentar do Paraná, e pré-cambrianas, associadas ao Planalto Atlântico, à resistência oferecida à erosão pelos derrames basálticos e arenitos silicificados que sustentam o relevo de Cuestas, caracterizados pela existência de altas e extensas escarpas estruturais, bem como a ação das águas oriundas de canais obseqüentes e subseqüentes que escavaram uma grande depressão relativa, exumando litologias paleozóicas (AB' SÁBER, 1956 citado por INSTITUTO FLORESTAL, 2005).



Fonte: Modificado de Instituto Florestal, 2005.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Ibitinga no contexto da Bacia do Rio Corumbataí.

As altitudes variam de 550 a 750m, sua evolução morfogenética está associada ao trabalho erosivo dos rios e águas das chuvas, nas bordas de uma bacia de sedimentação, configurando uma unidade de relevo comprimida entre o Planalto Atlântico a leste e o Relevo de Cuestas a oeste.

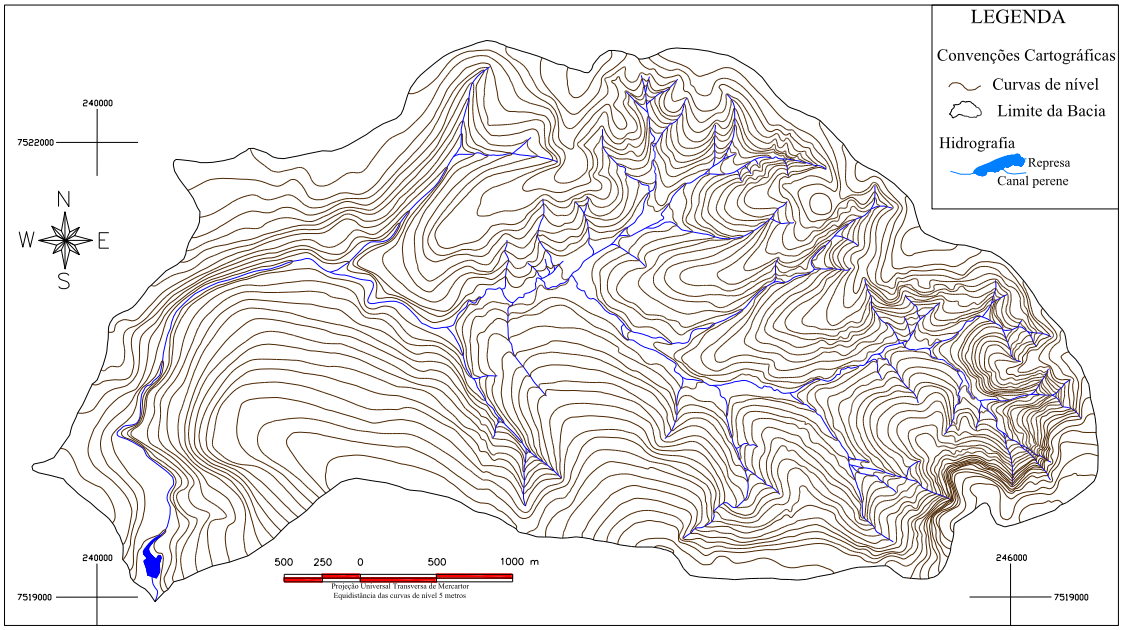


Figura 2 - Topografia da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga. Elaboração: Pinheiro, L. de S., 2009.

A Geomorfologia da área mantém estreita relação com a geologia local, onde:

> predominam na área litologias vinculadas as intrusivas básicas, representadas por "sills de diabásio" do mesozóico, onde se observa a presença de três falhamentos. (...) Ocorrem litologias vinculadas a Formação Rio Claro, datada do cenozóico onde se verifica a presença de arenitos inconsolidados de textura arenosa a areno-argilosa; entre 600 e 650 metros aparecem litologias vinculadas a Formação Corumbataí, cujos depósitos remontam ao paleozóico, sendo constituídas por siltitos e argilitos; vinculadas à era mesozóica, têm-se as intrusivas básicas e, ao longo do canal do Ribeirão Claro destaca-se a presença contínua de depósitos aluvionares quaternários constituídos de areias e argilas. (INSTITUTO FLORESTAL, 2005 p. 38).

Existe um falhamento responsável pelo soerguimento do setor posicionado no interflúvio entre os córregos Ibitinga e Santo Antonio, este setor é constituído por uma grande

mancha vinculada às litologias mesozóicas-intrusivas básicas, pela Formação Rio Claro, Formação Corumbataí e Formação Pirambóia.

Nos terrenos da Formação Rio Claro, a retirada da vegetação e o preparo da terra para o plantio ou para a expansão urbana favorecem grandemente a formação de voçorocas, principalmente face o contato desta formação, de textura mais arenosa, com a Formação Corumbataí, de textura mais argilosa.

A Geologia e Geomorfologia da área, bem como o clima local, condicionam a formação dos solos. Concernente a isso, a FEENA compõe-se em duas unidades principais referentes à abrangência de solos, o setor Norte, composto de solos com textura média a arenosa, e analiticamente distróficos; e o setor Sul, composto de solos com textura argilosa a muito argilosa, e analiticamente eutróficos (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

Localizada no setor Norte, a Bacia do Ibitinga é marcada pela distinção dos solos ocorrentes a NW e a NE. A porção NE é composta predominantemente de Argissolo Vermelho-Amarelo, e a porção NW é composta predominantemente de Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho-Amarelo. Ocorrem também solos hidromórficos nas faixas marginais do Córrego Ibitinga. No setor norte, a ocorrência de solos distróficos com textura mais grosseira é justificada como conseqüência dos materiais de origem: arenitos das formações Rio Claro e Pirambóia; siltitos e argilitos da formação Corumbataí. Quanto à declividade, a distribuição de solos é coerente, ou seja, Neossolo Quartzarênico e Latossolo em declividade pouco acentuada (até 5 %), e Argissolo em declividade ligeiramente mais acentuada. Onde o relevo é mais acidentado, este apresenta-se como o principal fator de diferenciação e formação dos solos menos desenvolvidos (Neossolos Litólicos). Num sentido geral o solo predominante é o Argissolo (antigo podzólico). Estes solos apresentam certa susceptibilidade à erosão, sendo tanto maior quanto maior for a declividade do terreno.

Esta susceptibilidade está relacionada diretamente com o clima que insere-se na classificação Cwa de Köppen: *mesotérmico* (com temperatura média do mês mais frio entre –3º C e 18º C) e *tropical de altitude* (com inverno seco e temperatura média do mês mais quente superior a 22º C).

O regime de chuvas é influenciado pelas massas Tropical Atlântica e Equatorial Continental, que trazem umidade para o continente. Elevadas temperaturas causam ascensão de ar quente e úmido, ocasionando chuvas. No inverno as baixas temperaturas são influenciadas pela massa Polar Atlântica (MONTEIRO, 1973).

De posse destas informações, torna-se extremamente importante a pesquisa cientifica, pois permitirá a análise da dinâmica erosiva em um nível mais elevado de detalhes.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa aqui apresentada buscou na visão sistêmica o apoio teórico-metodológico para analisar as relações entre o meio físico e os dados obtidos com a aplicação da do fator topográfico da EUPS. Neste sentido esta pesquisa aborda a questão relacionada aos processos de degradação ambiental dos solos na perspectiva de um entendimento sistêmico. Desta forma, compreende-se o relevo da bacia do Córrego da Água Branca (sistema morfológico) como um sistema aberto, pois necessita ser mantido por constante suplementação e remoção de material e energia para sua manutenção e preservação (CHORLEY, 1971). A energia é fornecida pelos agentes de erosão (LAL, 2001); a energia para causar a erosão hídrica vem inicialmente do impacto da gota de chuva (WISCHMEIER, 1962), aumentando quando a intensidade do escoamento é exacerbada pela declividade e pela quantidade de material transportado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

A Teoria sistêmica permite, dessa forma, o estabelecimento das relações entre o conhecimento geomorfológico da área e os valores quantitativos fornecidos pela modelagem, contribuindo, portanto, na execução deste trabalho, pois os resultados da aplicação do modelo devem ser correlacionados tendo em vista os fluxos de matéria e energia, evitando, deste modo, resultados discrepantes ou errôneos.

Para a elaboração da Carta foi necessária a criação dos Mapas de Extensão de Vertentes e do Mapa de Classes de Declividade. Estas duas cartas foram cruzadas, em ambiente SIG, o resultado foi a geração da Carta de Fator Topográfico que aponta as áreas mais susceptíveis à dinâmica erosiva. Primariamente foi necessária a criação da base cartográfica da área de estudo, através da digitalização e vetorização de cartas topográficas de escala 1:10000.

Para a elaboração do mapa de Extensão de vertentes utilizou-se, primeiramente foi feito o mapeamento das formas de vertentes (Figura 3), em seguida procedeu-se à divisão de toda a bacia em quadrículas de 200 m, a delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas, e por fim foram calculadas as extensões dos polígonos criados. Nesses polígonos gerados foram traçados os caminhos de escoamento hídrico e calculadas as médias para cada polígonos. Tal procedimento realizou-se através do AutoCAD, em seguida o arquivo foi

exportado para o Spring, onde criou-se o banco de dados e novamente exportou-se o arquivo para o Idrisi, para o cruzamento dos dados e a reclassificação do mapa elaborado.

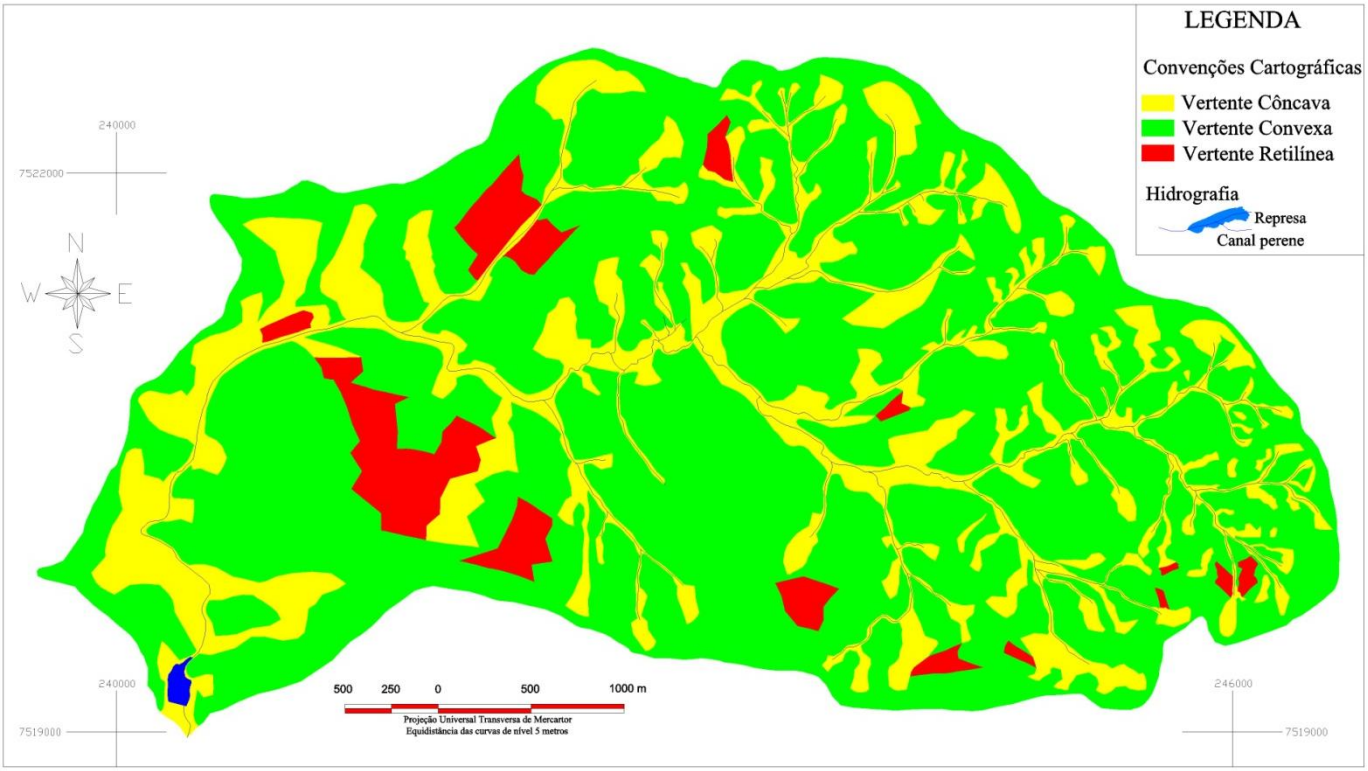


Figura 3 – Carta de Formas de Vertentes da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga. Elaboração: Pinheiro, L. de S., 2011.

O mapa Clinográfico ou de declividade, foi gerado pelo Spring e exportado para o Idrisi. Após a elaboração destas duas cartas em ambiente AutoCAD (arquivo de extensão DWG) o arquivo resultante foi exportado (em extensão DXF versão R12) para o Spring e, então, novamente exportado (TIFF / GEOTIFF) para o Idrisi32, no qual foi feito o cruzamento dessas duas cartas através do comando “Image Calculator”, aplicando a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005) que possibilita calcular, para o estado de São Paulo, os fatores LS conjuntamente:

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

Onde: **C**= Comprimento de rampa em metros (Carta de Dissecação Horizontal); **D**= Grau de declividade em porcentagem (Carta Clinográfica).

O resultado, do cruzamento das Cartas Clinográfica e de Extensão de Vertentes foi a geração da Carta do fator LS.

Considerações

É muito importante a compreensão do comportamento das características físicas, pois, através delas torna-se possível relacioná-las com os processos erosivos existentes na área de estudo. A Carta do Fator LS (Figura 4) apresenta áreas que possuem vulnerabilidades à dinâmica erosiva, como no setor à Oeste onde predominam as extensas vertentes, sendo que as distinções ocorrem pelas diferenciações de declividade.

As áreas mais propensas à erosão localizam-se marginalmente ao baixo curso do Córrego Ibitinga. De maneira geral prevalece a baixa e média suscetibilidade erosiva, no entanto a ocorrência de solos arenosos e a ausência da vegetação ou um manejo inadequado da agricultura, podem ocorrer diversos fenômenos erosivos.

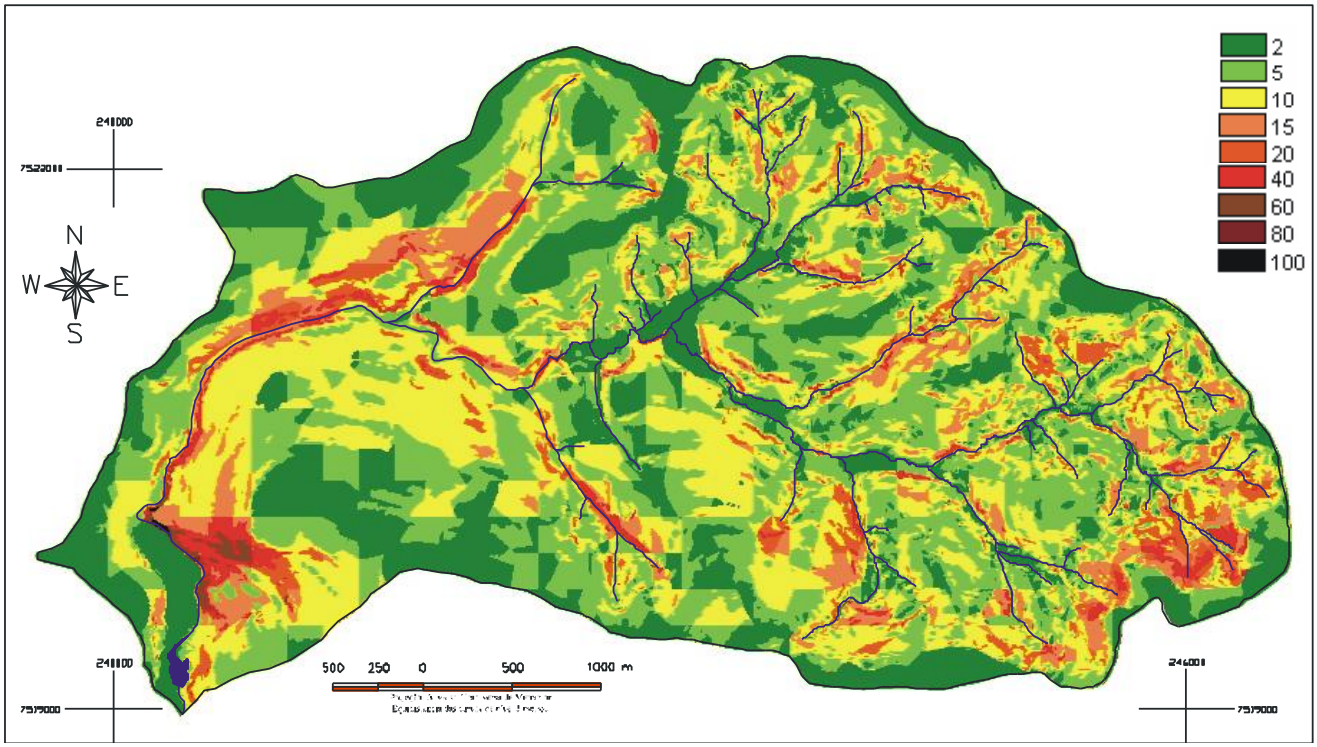


Figura 4 – Carta do Fator LS da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga. Elaboração: Pinheiro, L. de S., 2011.

Contudo deve ser salientado que as classes que indicam maiores vulnerabilidades erosivas possuem uma sensível importância e indica que existem outras áreas que demandam maiores atenções.

O córrego Ibitinga apresenta toda a sua margem esquerda com declividades que variam entre 5 a 10% e 10 a 20%,predominando, no entanto, as classes de declividade entre 5% e 10% (figura 7 – Mapa Clinográfico). Somente em um trecho de sua margem direita,

contata-se a presença de classes de declividades mais acentuadas, sendo a classe predominante àquela que envolve declives com inclinações da ordem de 10% a 20%. Apenas em um pequeno trecho da média bacia do córrego encontram-se declividades compreendidas entre 20% a 30%. Já nas proximidades de sua foz com o córrego Santo Antônio, nota-se a presença de depósitos aluvionares e declividades inferiores a 2%. À montante desse trecho o vale apresenta-se em "V", evidenciando a competência do canal fluvial em carrear sedimentos e impedir a acumulação de depósitos fluviais (INSTITUTO FLORESTAL, 2005 p. 36).

Desta maneira, notou-se que as linhas de cumeada são suaves e, por isso, possuem baixa susceptibilade. No entanto, existe uma ruptura topográfica que representa uma diferenciação erosiva e um aumento da declividade e, consequentemente, uma elevação da vulnerabilidade erosiva da área. Esse maior potencial da erosão ocorre no alto curso do Córrego Ibitinga, bem como nas cabeceiras dos demais cursos tributários e também acompanhando toda a linha de ruptura topográfica que margeia o lado esquerdo do curso principal, em função das maiores declividades, principalmente nas vertentes côncavas.

Verificou-se, neste trabalho, que a metodologia utilizada no cálculo das extensões das vertentes foi satisfatória, pois evitou a superestimação dos valores do comprimento das vertentes, pois a vertente possui diferenciação na erosão ao logo de seu percurso. Desta forma, não se pode considerar como igual a erosão em toda a extensão, pois na sua porção superior o escoamento hídrico possui menor velocidade, enquanto que na porção inferior o escoamento acumula energia pela declividade e pela extensão da vertente, ou seja possui maior poder erosivo.

Pinheiro (2010) elaborou um mapa de Fator LS para a mesma área, no entanto o comprimento das vertentes foi considerado em sua totalidade, fazendo-se a divisão em bacias e sub-bacias, o resultado foram valores superestimados do Fator LS, conforme verificado na Figura 5. Notou-se que os valores de 15 e 20 obtiveram maiores extensões de áreas do que na Figura 4, enquanto que nesta ocorreu um aumento relativo da categorias 5 e 10.

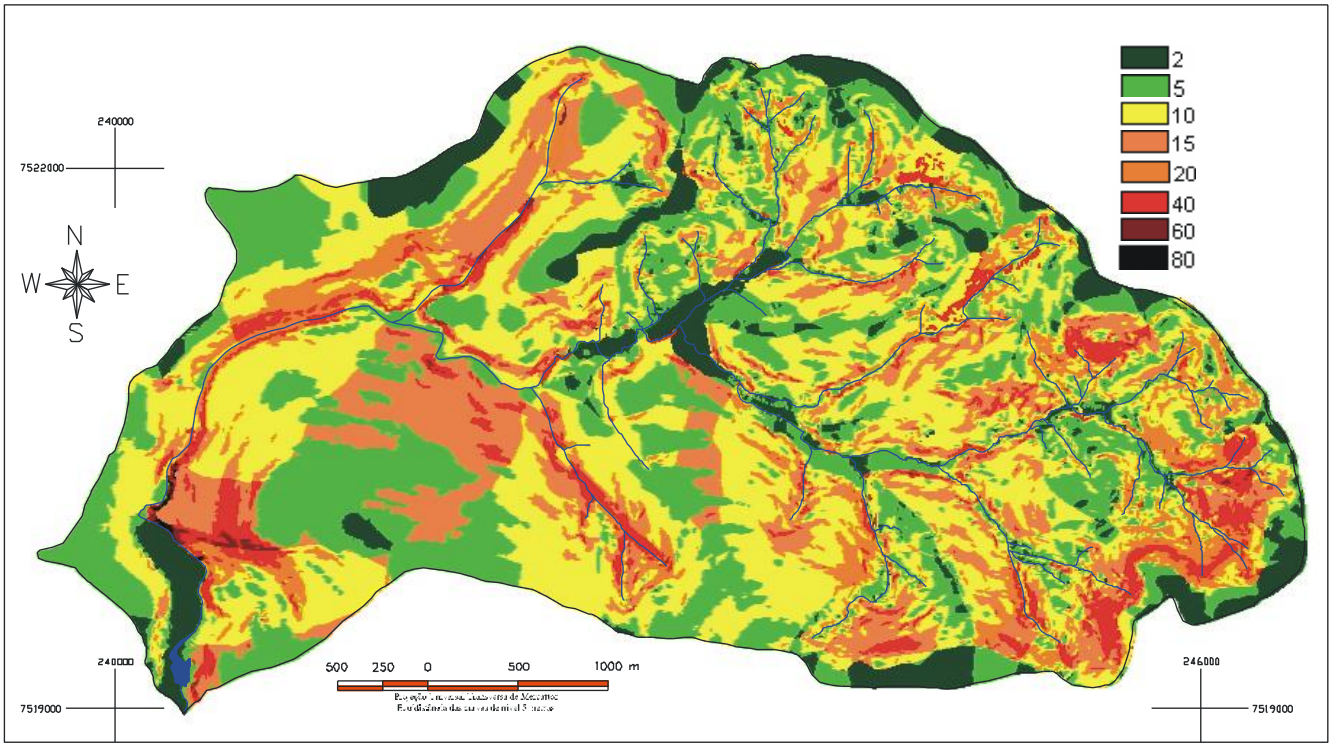


Figura 5 – Carta do Fator LS da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga. Elaboração: Pinheiro, L. de S., 2010.

O fator LS interfere na dinâmica erosiva através do comprimento da vertente e da inclinação do relevo, são fatores fundamentais para a compreensão do processo do escoamento hídrico superficial. Por isso, torna-se extremamente indispensável o Planejamento Ambiental, através de um manejo adequado possibilitando a redução de impactos ambientais, maiores ganhos na esfera econômica e a conscientização social.

Referências

ALMEIDA, F. F. M. de. *Os fundamentos geológicos do relevo paulista*. IGEOG, São Paulo, 1974.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo.* (5. ed.) Ícone, São Paulo, 2005.

CHORLEY, R. J. A. Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 11, n. 21, 1971. p. 3 –22,

INSTITUTO FLORESTAL *Plano de manejo: Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, SP*. SMA, Instituto Florestal de São Paulo. Rio Claro, 2005. (Não publicado)

MONTEIRO. C. A. de F. *A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo.* USP/IG, São Paulo, 1973.

LAL, R. Soil Degradation by erosion. *Land Degradation e Development*, 2001. p. 519-539.

PINHEIRO, L. S., CUNHA, C. M. L. Geração do fator topográfico (LS) da EUPS para modelagem erosiva de bacia hidrogáfica In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, 2010. *Anais...* Coimbra - Portugal: Universidade de Coimbra.

WISCHMEIER, W. H., Storms and Soil Conservation*. Journal of soil and water conservation.* Vol. 17, 1962. p. 55-59.