

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

**Avaliação da erosão hídrica, transporte de sedimentos e qualidade da água na
bacia do ribeirão Monjolo Grande (Ipeúna - SP)**

Antonio Aparecido Couto Júnior

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

Antonio Aparecido Couto Júnior

AVALIAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA, TRANSPORTE DE
SEDIMENTOS E QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO
MONJOLO GRANDE (IPEÚNA - SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas - Campus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2013

551.302 Couto Júnior, Antonio Aparecido
C871a Avaliação da erosão hídrica, transporte de sedimentos e
qualidade da água na bacia do córrego Monjolo Grande /
Antonio Aparecido Couto Júnior. - Rio Claro, 2013
62 f. : il., figs., tabs., quadros, fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia)
- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Erosão. 2. EUPS. 3. Fator topográfico. 4.
Geotecnologias. 5. Sistema de Informação Geográfica (SIG).
I. Título.

Antonio Aparecido Couto Júnior

**AVALIAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA, TRANSPORTE DE
SEDIMENTOS E QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO
MONJOLO GRANDE (IPEÚNA - SP)**

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto (orientador)

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro, 07 de fevereiro de 2014.



Assinatura do aluno (a)



Assinatura do (a) orientador (a)

Resumo

A compreensão das relações existentes entre os elementos naturais é fundamental para que possa ser promovido o ordenamento de uso, ocupação e gestão sustentável dos sistemas ambientais. Nesse contexto, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), como um modelo preditivo à erosão, é importante por possibilitar a prevenção de impactos ambientais que possam interferir drasticamente em ambientes naturais ou antrópicos, bem como evitar possíveis investimentos equivocados e até mesmo contribuir para maior eficiência da produção agrícola. Dentre os fatores contemplados pela EUPS, o Fator Topográfico (LS) interfere diretamente na dinâmica erosiva de uma bacia hidrográfica, pois envolve variáveis relacionadas aos processos hidrológicos que nela ocorrem. Nesse estudo foram abordados diferentes métodos existentes para a obtenção do Fator Topográfico (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; MOORE e BURCH, 1986; DESMET E GOVERS, 1996) em ambiente SIG. Após a comparação entre os métodos, indicou-se aquele que melhor representa as condições de geometria de vertente da área em estudo. Por fim, foram obtidos outros fatores (R, K, C e P) contemplados pela EUPS. A obtenção desses parâmetros pautou-se na utilização de geotecnologias, sobretudo em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o auxílio de dados secundários e visitas periódicas a campo.

Os resultados obtidos contribuíram para o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica da área de interesse e servem como uma estratégia viável para estudos de perda de solo, dando suporte a elaboração de material consistente como subsídio a uma abordagem de planejamento ambiental e gestão territorial.

Palavras-Chave: EUPS, Fator Topográfico, Geotecnologias, Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Abstract

Understanding the linkages between the natural elements is essential for being promoted the land use, occupation and sustainable management of environmental systems. Universal Soil Loss Equation (USLE), as a predictive model of erosion, is important to allowing the prevention of possible environmental impacts which may drastically interfere in natural or anthropic environments, as well as prevent potential financial wastes and even contribute to greater efficiency of agricultural production. This research will be working some USLE parameters, emphasizing topographic factor from Ribeirão Monjolo Grande watershed. Among the factors considered by the USLE, the Topographic Factor interferes directly in the erosive dynamic of a watershed because it involves variables related to hydrological processes that occur on it. In this research, were discussed different methods for obtaining the Topographic Factor (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; MOORE e BURCH, 1986; DESMET E GOVERS, 1996) in GIS environment. After comparison between the methods, was indicated that best represents the conditions of geometry strand of the study area. Finally, other factors (R, K, C, P) considered by the USLE were obtained. The attainment of these parameters were guided by the use of geotechnologies, especially in Geographic Information Systems (GIS), with the assistance of secondary data and periodic field visits.

The results obtained contributed to the understanding of hydrosedimentological dynamic in this area and serve as a viable strategy for studies of soil loss, aiming at developing consistent material for future researches about environmental planning and land management.

Keywords: USLE, Topographic Factor, Geotechnologies, Geographic Information Systems (GIS).

Dedico este trabalho aos meus amigos, à minha família e especialmente aos meus pais, que me deram apoio incondicional durante estes últimos anos. Dedico também ao querido Benedito de Moraes, meu avô, que certamente ficaria feliz em ver a conclusão desta etapa da minha vida.

Agradecimentos,

Ao meu orientador, Professor Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto, pela paciência e disponibilidade nos momentos em que mais precisei, por compartilhar sua sabedoria e seu profissionalismo, e pelas conversas descontraídas que tantas vezes alegraram meu cotidiano.

A queridíssima Dra. Lucimari Aparecida Franco Garcia Rossetti, que me estendeu a mão em momentos difíceis, oferecendo ajuda, dando conselhos e, acima de tudo, exercendo um companheirismo raro e valioso. Jamais esquecerei.

A doutoranda Edvania Corrêa, por estar sempre disponível para sanar minhas dúvidas, me ajudar nos momentos de incerteza e, sobretudo, por ser uma grande amiga (na verdadeira acepção da palavra).

A doutoranda Isabel Cristina Moraes, que me ajudou em muitos momentos e me fez rir em tantos outros. A sua simpatia, seu jeito preocupado e bem humorado foi, e continua sendo, essencial nesse tempo de convivência. Uma pessoa ímpar.

Ao doutorando Luís Henrique Pereira por me abrir algumas portas e mostrar o caminho a ser seguido. Além disso, pela preocupação, pelos conselhos, pela disponibilidade e, sobretudo, pela amizade.

Ao doutorando Éder Paulo Spatti Júnior, por compartilhar sua sabedoria, suas ideias, seus conselhos e pelas boas conversas de sempre. Uma grande pessoa, sem dúvida.

A todos do grupo de pesquisa, que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Aos amigos Gustavo Peres, Lucas Baldoni e Rafael Fávero, que fizeram dos últimos cinco anos os melhores da minha vida.

A querida Stefania Oliveira, pela amizade, sinceridade e por ter me ajudado a abrir os olhos.

Aos amigos de Itapira (eles sabem), pela amizade que se desenvolveu ao longo da vida e que se torna mais sólida a cada dia que passa. Os amigos são os irmãos que escolhemos.

Considero-me um homem de sorte por conhecer e conviver com todos vocês.
Obrigado.

“I’m a lucky man, to count on both hands the ones i love”

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Fundamentação Teórica	2
2.1. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)	2
2.2. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e o Fator Topográfico (LS)	4
2.3. Histórico e importância dos SIGs para a integração de dados	7
3. A área de estudo	8
3.1. Caracterização da área de estudo	8
4. Materiais e Métodos	11
4.1. Levantamento Bibliográfico e Estruturação do Banco de Dados.....	13
4.2. Declividade e Hipsometria.....	15
4.3. Obtenção dos Fatores da EUPS.....	15
4.3.1. Métodos para obtenção do Fator Topográfico (LS)	15
4.3.1.1. Proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985).....	16
4.3.1.2. Proposta de Desmet e Govers (1996).....	16
4.3.1.3. Proposta de Moore e Burch (1986)	19
4.4. Erosividade da Chuva (Fator R).....	21
4.5. Erodibilidade do Solo (Fator K).....	22
4.6. Potencial Natural de Erosão (PNE).....	23
4.7. Uso e Manejo da terra (Fator C).....	24
4.8. Prática Conservacionista (Fator P).....	29
5. Resultados	29
5.1. Hipsometria e Relevô	30
5.2. Fatores da EUPS	35
5.2.1. Fator L pela proposta de Desmet e Govers (1996).....	35
5.2.2. Fator L pela proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985).....	36
5.2.3. Comparação entre as propostas	37
5.3. Fator Declividade (S)	37

5.4. Fator Topográfico (LS)	39
5.4.1. Fator Topográfico (LS) pela proposta de Desmet e Govers (1996)	39
5.4.2. Fator Topográfico (LS) pela proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985)	40
5.4.3. Fator Topográfico (LS) pela proposta de Moore e Burch (1986)	41
5.4.4. Comparação entre as propostas	42
5.5. Erosividade da chuva (Fator R)	43
5.6. Erodibilidade do Solo (Fator K)	46
5.7. Potencial Natural de Erosão (PNE)	49
5.8. Uso da terra e cobertura vegetal natural (Fator C)	53
5.9. Prática Conservacionista (Fator P)	57
6. Considerações Finais	58
7. Referências	60

1. Introdução

Em termos gerais, o desenvolvimento socioeconômico de uma nação está fundamentado na utilização dos recursos naturais terrestres. Os processos de exploração desses recursos se intensificaram ao longo da história do homem em razão do avanço científico e tecnológico aliados ao crescimento populacional. Nesse contexto, as ações governamentais podem ser orientadas no sentido de garantir a exploração ambientalmente sustentável desses recursos, visando o equilíbrio entre a conservação e o aproveitamento dos mesmos.

Grande parte dos problemas referentes à ocupação das terras está associada à ausência de planejamento e de sua utilização inadequada. De acordo com Valeriano (1999) o planejamento do uso do solo rural apresenta-se como um procedimento criterioso no qual são incorporadas as limitações e riscos na avaliação do potencial de uso.

Entre os principais recursos degradados pela ação antrópica destacam-se o solo e a água, elementos ligados por processos hidrológicos, biológicos e físico-químicos que interagem no sistema ambiental terrestre. Para Pereira (2010) o uso inadequado dos solos tem causado a perda gradual de sua capacidade produtiva e contaminação dos recursos hídricos da superfície, devido ao aporte de sedimentos para os canais fluviais, que alteram a qualidade da água e resultam em processos de assoreamento que, por sua vez, modificam o escoamento das calhas dos canais fluviais e diminuem a vida útil dos reservatórios. Segundo Pinto (1983 e 1991), a discrepância entre o uso real da terra e a sua aptidão agrícola pode ser determinante para a queda da produtividade agrícola e pode convergir para a degradação dos solos. Observa-se sempre um forte sinergismo entre a dinâmica da ocupação das terras e os processos de erosão hídrica dos solos.

No Brasil, o desenvolvimento agrícola considerava inesgotáveis as riquezas e a fertilidade das terras, sendo a erosão hídrica um dos fatores de desgaste que mais severamente contribuiu para a improdutividade dos solos, e de maior prejuízo à população e a degradação dos solos. Práticas inadequadas, como o plantio continuado e mal distribuído, com culturas pouco protetoras do solo, o plantio em curvas de nível a favor das águas, queimadas e pastoreio excessivo provocam o depauperamento dos solos e aceleram os processos erosivos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Deste modo, o planejamento de ocupação territorial adequado deve enfatizar o equilíbrio do desenvolvimento ambiental e atender aos princípios de sustentabilidade

ecológica, econômica, social e cultural (SACHS, 2000 apud PEREIRA 2010). O desenvolvimento de práticas adequadas de manejo e conservação do solo faz-se essencial e deve servir de suporte para a produção de alimentos e matérias primas, visando garantir a sustentabilidade das atividades produtivas, o equilíbrio ambiental dos agrossistemas e a diminuição dos efeitos da erosão acelerada dos solos.

Diante de tais premissas, torna-se necessário um planejamento ambiental com ênfase na gestão do uso dos recursos naturais. Como unidade de análise, salienta-se que a bacia hidrográfica consiste num elemento importante constituinte do meio físico terrestre, pois funciona como unidade natural para o planejamento e gestão da ocupação territorial. De acordo com Andreozzi (2005) a bacia hidrográfica funciona como uma unidade capaz de integrar atmosfera, vegetação nativa, agricultura, solos, substrato rochoso e corpos d'água, portanto, sendo um geo-sistema aberto que melhor reflete os impactos das atividades antrópicas.

Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo analisar os processos erosivos em uma bacia hidrográfica de pequeno porte, aplicando o modelo Equação Universal de Perda de solo (EUPS), com ênfase ao fator topográfico (LS) e as diferentes formas de obtenção de seus dados, com o suporte das técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi selecionada a bacia hidrográfica do Córrego Monjolo Grande, município de Ipeúna, na porção centro-leste do território paulista.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A aplicação de modelos preditivos para estimar a perda de solos vem sendo intensificada em estudos de caráter conservacionista. A equação universal da perda de solo (EUPS) pode ser utilizada em escala universal, dependendo da existência ou obtenção de dados específicos obtidos localmente.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985) os primeiros trabalhos realizados visando o desenvolvimento de equações que avaliassem a perda de solo no campo, datam de 1940, na região do Corn Belt nos Estados Unidos. O processo empregado a partir daquela época até 1956 era conhecido como método do plantio em declives.

Zingg (1950) desenvolveu uma equação relacionando a intensidade de perda de solo com o comprimento e o grau de declive do terreno. Smith (1951) acrescentou os fatores

práticas conservacionistas e culturais, e estabeleceu o conceito de limite específico de perda de solo, a fim de organizar um método gráfico para determinar práticas conservacionistas para a sua região de trabalho. Por sua vez, Browning, Parish e Glass (1947) utilizaram os fatores erodibilidade do solo e manejo, elaborando um conjunto de tabelas para simplificar seu uso no campo.

De acordo com Bertoni, Lombardi Neto e Benatti (1975) outros progressos e adaptações foram implementados, tendo em vista, sobretudo, às condições da região do Corn Belt (EUA). Em 1946, em Ohio, uma comissão reuniu-se com a finalidade de adaptar a equação do Corn Belt para diversas áreas que passavam pelos mesmos problemas com erosão.

Após vários estudos foi acrescentado o fator chuva e a incorporação desse fator culminou em uma equação conhecida como Equação de Musgrave. Apesar da utilidade da equação, sua utilização não pôde ser difundida a novas áreas, devido à falta de informações básicas e de métodos para adaptar os valores dos fatores determinados pelas diferenças das distribuições de chuvas, tipos de chuvas esperadas, práticas agrícolas locais, duração do período de desenvolvimento da cultura e outras variáveis.

No final da década de 1950, foi aprovada uma equação que superou grande parte das limitações surgidas nas equações anteriormente propostas. O modelo desenvolvido no Runoff and Soil - Loss Data Center, do Agricultural Research Service (USDA), com sede na Universidade de Purdue, resultou na atual equação denominada Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), cujo aperfeiçoamento foi resultante da integração e interpretação de dados básicos de perda de solo e água, disponíveis em diversos locais dos Estados Unidos a partir da década de 1950 (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Diversas análises determinaram ajustes que foram incorporados na equação. Tais implementações podem ser exemplificadas por fatores como: a) índice de erosão da chuva; b) manejo agrícola em relação às condições climáticas locais; c) fator quantitativo de erodibilidade do solo; d) efeitos de variáveis como o nível de produtividade, sequência de culturas e manejo de resíduos.

Em razão de tais modificações, a equação acabou por superar as restrições geográficas e climáticas inerentes aos estudos anteriores, passando a ter uma aplicabilidade generalizada, dando origem ao modelo da equação universal de perda de solo, que foi revisado e atualizado por Wischmeier e Smith (1978).

2.2. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e o Fator Topográfico (LS)

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) é muito aplicada em bacias hidrográficas e também utilizada em projetos de planejamento ambiental e gestão de recursos naturais, por exemplo, a água. A aplicação desse modelo ganhou agilidade a partir da disponibilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), visto que estes apresentam possibilidades de operações matemáticas de maneira automatizada em ambiente computacional. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985), consiste em um modelo multiplicativo simples, pelo qual a perda média anual do solo, expressa em massa por unidade de tempo (A, em, MJ. ha/ano) é dada pelo produto de seis fatores determinantes.

Desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), a equação de aplicação da EUPS é descrita como:

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

Onde:

A = Perdas anuais de solos, em ton/hectare.

R = Índice de erosividade da chuva;

K = Fator de erodibilidade dos solos;

L = Comprimento da vertente;

S = Grau de declive;

C = Fator uso e manejo;

P = Fator prática conservacionista;

De acordo com Sparovek (2008) os fatores R K L e S dependem das condições naturais do clima, do solo, do relevo e definem, em conjunto, o potencial natural de erosão. Os fatores C e P são antrópicos e se relacionam com as formas de uso e ocupação das terras.

A combinação dos fatores L (Comprimento da Vertente) e S (Grau de Declive) resultaram no fator topográfico (LS). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985) o fator LS é a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer, correspondente a uma parcela unitária de 25m de comprimento e com 9% de declive.

Para uso em combinações definidas de comprimento e grau de declive, foi desenvolvido um ábaco aplicando a equação (Equação 1):

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,97S + 0,1385 S^2) \quad (1)$$

Onde:

L = comprimento de declive em metros;

S = grau do declive em porcentagem;

O efeito do grau de declive e do comprimento pressupõe declives essencialmente uniformes, ou seja, não considera se eles são côncavos ou convexos, pois seus efeitos na perda de solo ainda não estão bem avaliados. No entanto, dados indicam que o uso do gradiente médio da extensão de vertente pode subestimar perdas de declives convexos e superestimar aquelas de declives côncavos. Quando a parte final de uma vertente se apresenta mais declivosa que a superior, o gradiente deve ser usado para representar o declive de todo o comprimento de vertente no cálculo do fator LS. Para declive côncavo, a deposição de material ocorre na parte inferior, nesse caso, o comprimento e o grau de declive a serem empregados correspondem à parte superior, a partir do ponto onde o solo começa a depositar.

Com base nos dados de perda de solo por erosão obtidos nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo, numa média de dez anos de observações de diferentes extensões de vertentes e graus de declive, Bertoni (1959) determinou uma equação que permite calcular perdas médias de solo para os mais variados graus de declive e extensão de vertentes.

O cálculo do fator LS para equação de perda de solo foi baseado nas fórmulas obtidas por Bertoni (1999), a saber, (Equação 2):

$$T = 0,145 * D^{1,18} \quad (2)$$

Onde:

T = perda de solo, em quilogramas/unidade de largura/unidade de comprimento;

D = grau de declive do terreno, em porcentagem e (Equação 3)

$$T = 0,166 * C^{1,63} \quad (3)$$

Onde:

T = perda de solo, em quilogramas/unidade de largura;

C = comprimento de rampa do terreno, em metros.

Para as condições padrão, as equações 1 e 2 tornam-se (equação 4):

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (4)$$

Onde:

LS - Fator topográfico

C – comprimento de rampa ou encosta, em *m*.

D – grau de declive médio da encosta, em %.

Com apoio do modelo EUPS, diversos trabalhos têm sido realizados em condições naturais, em nível de bacias hidrográficas, como: Morgan e Nalepa (1982), Pinto (1983, 1991 e 1996), Bertoni e Lombardi Neto (1985 e 1993), Wilson (1986), De Gloria et al (1986) e IPT (1986).

2.3. Histórico e importância dos Sistemas de Informação Geográfica para a análise e integração de dados

A compreensão das relações existentes entre os elementos naturais é fundamental para que possam ser promovidos o ordenamento de uso, ocupação e gestão sustentável dos sistemas ambientais. Nesse contexto, o geoprocessamento adquire grande importância, sobretudo pelo fato de dar suporte a trabalhos diagnósticos das condições ambientais de uma área, visando subsidiar políticas de planejamento e gestão de recursos naturais terrestres. Para a realização desses trabalhos, a coleta de dados e a obtenção de informações sobre a distribuição dos fenômenos geográficos é essencial. Nesse sentido, o desenvolvimento da informática permitiu o armazenamento e a representação de tais informações em ambiente computacional, o que deu origem a prática do geoprocessamento.

De acordo com Rodrigues (1993), Geoprocessamento consiste em um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltadas para um objetivo específico. Tal conjunto possui como principal ferramenta o Geographic Information System (GIS) ou Sistema de Informação Geografia (SIG).

Para Aronoff (1995), o SIG é um conjunto de procedimentos, manuais ou automatizados, utilizados para o armazenamento e a manipulação de informações georreferenciadas. Para Câmara e Davis (2001), o SIG permite a realização de análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica datam da década de 1960, no Canadá, como parte integrante de um programa governamental para a criação de um inventário de recursos naturais. Contudo, a tecnologia incipiente, a falta de mão de obra especializada e o alto custo dos computadores inviabilizaram, naquele momento, o avanço desta tecnologia. Não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro (CÂMARA e DAVIS, 2001).

Durante a década de 1970, foram desenvolvidos hardwares mais avançados e acessíveis, o que viabilizou o desenvolvimento de sistemas comerciais. Entretanto, os custos ainda eram altos e a tecnologia desenvolvida ficou restrita a grandes organizações.

Foi na década de 1980 que o desenvolvimento dos SIG iniciou um período de crescimento, provocado pelos avanços da microinformática e pelo estabelecimento de centros

de estudo especializados. A popularização e o barateamento das estações de trabalho gráficas, o surgimento dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais contribuíram significativamente para a difusão do Geoprocessamento (CÂMARA e DAVIS, 2001).

De acordo com Câmara e Davis (2001), o Geoprocessamento no Brasil foi introduzido a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 1980. A vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG (o Canadian Geographical Information System), incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver tecnologia, tais como: UFRJ - O grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ; MaxiDATA; CPqD/TELEBRÁS (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Na presente pesquisa, foi realizada a integração e modelagem de dados espaciais, bem como a obtenção dos parâmetros da EUPS. Tais procedimentos fazem dos Sistemas de Informação Geográfica ferramenta fundamental para a integração de fatores e a obtenção de produtos que possam simular e representar os processos de erosão hídrica do solo em uma bacia hidrográfica.

Alguns trabalhos envolvendo a utilização dos SIGs para estudos em bacias hidrográficas foram realizados por Donzeli et al (1994), Pinto (1996), Araujo Jr (1997), Valle Júnior (2008), Hartwig (2009), Pereira (2010) e Correa (2011).

Os resultados obtidos nesta pesquisa contribuirão para a compreensão da importância do geoprocessamento na obtenção dos fatores hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Estas informações foram integradas a outros parâmetros intervenientes no processo erosivo, subsidiando, assim, a realização de posteriores estudos de perda de solo por erosão laminar hídrica, com a finalidade de contribuir para o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica das áreas de estudo.

3. A Área de Estudo

3.1. Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande (Figura 1), tributário do Rio Passa Cinco, pertence à bacia do Rio Corumbataí (SP), situada no município de Ipeúna (SP). O município localiza-se no centro leste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas

geográficas de 22° 18' e 22° 23' latitude sul; 47° 48' e 47° 42' longitude oeste de Greenwich (fuso 23), compreendendo uma área aproximada de 5000 ha (50 km²).

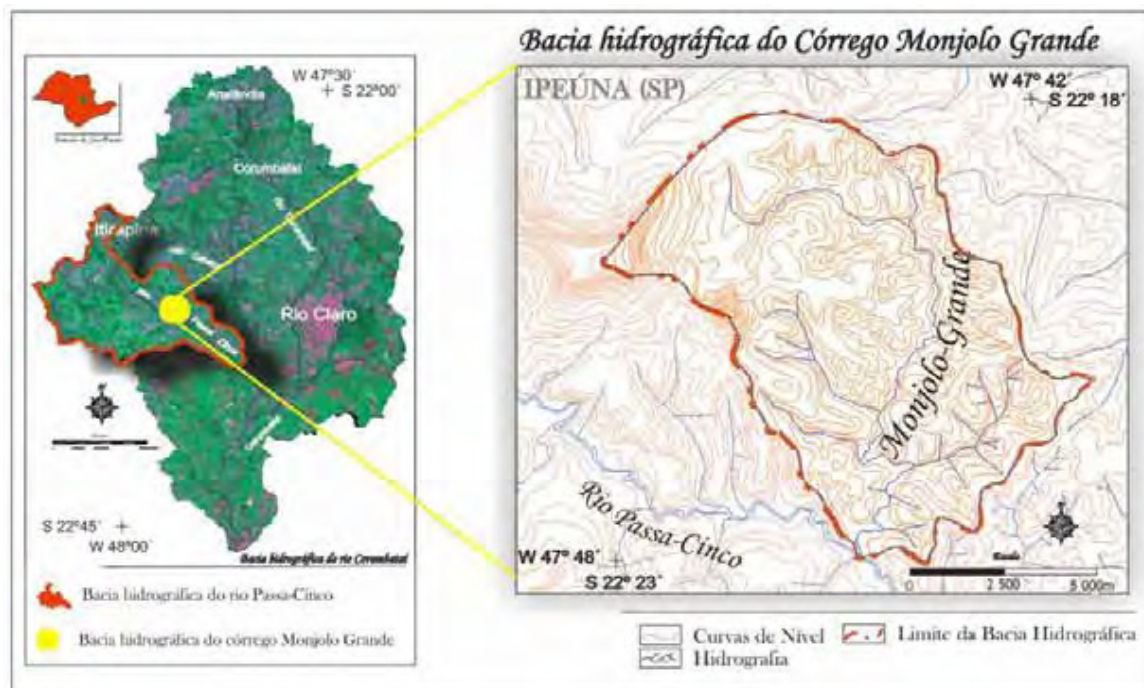


Figura 1 – Bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande

Fonte: Pereira (2010)

De acordo com a caracterização climática de Köppen-Geiger, o clima da região pode ser classificado como Aw, tropical chuvoso, com chuvas concentradas no verão e invernos secos. Deste modo, pode ser caracterizado como Mesotérmico, pois possui temperaturas médias superiores a 18 °C na maior parte do ano, enquanto o mês mais quente atinge temperaturas superiores a 22 °C (PINTO, 2010).

As precipitações estão anualmente distribuídas de acordo com dois períodos bem definidos: de abril a setembro, ocorre o período seco com índices pluviométricos que variam de 180 a 200 mm com 15 a 20 dias de chuva e; de outubro a março, ocorre o período úmido, com índice pluviométrico típico de 1200 mm, com 55 a 65 dias de chuva (BONOTTO e MANCINI, 1992 apud PINTO, 2010).

A cobertura vegetal original da região era constituída por mata tropical latifoliada, situada ao longo dos espigões, com a ocorrência de matas galerias margeando os canais fluviais da bacia. De acordo com Pinto (2010), a vegetação natural foi suprimida pela ação antrópica através da monocultura de cana de açúcar, pela pecuária e outras atividades agrícolas de subsistência.

Em seus aspectos geológicos, a bacia do ribeirão Monjolo Grande está situada na bacia sedimentar do Paraná. Tal área encontra-se preenchida por pacotes de rochas sedimentares e vulcânicas remanescentes desde o período Siluriano até o Cretáceo Superior (SCHOBENHAUS, 1984 apud CORRÊA, 2011).

A bacia do ribeirão Monjolo Grande é composta pelas formações Itaqueri, Serra Geral, Piramboia, Botucatu e Corumbataí. As características de destas formações são apresentadas de forma resumida no Quadro 1.

Quadro 1 – Formações Geológicas presentes na bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande

Itaqueri	A formação Itaqueri compreende depósitos rudáceos de leques aluviais dispostos sobre as serras de Itaqueri, São Pedro, São Carlos e Cuzcuzeiro, cuja gênese está relacionada a evolução da Superfície de Aplainamento do Japi. Sua idade paleocenica-eocénica é atribuída pelos processos de silicificação hidrotermal penecontemporâneos a sedimentação, associados à colocação de corpos de rochas alcalinas ao longo do alinhamento do Rio Moji-Guaçu. O tectonismo deformador desta unidade é caracterizado pela presença de estruturas rúpteis, sobretudo falhas e juntas, relacionadas a movimentações ao longo dos alinhamentos estruturais do Rio Tietê, São Carlos-Leme e Rio Moji-Guaçu (RICCOMINI, 1997).
Serra Geral	A Formação Serra Geral compreende um conjunto de derrames tabulares de basaltos toleíticos, entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características da Formação Botucatu. Os arenitos da formação Botucatu interdigitam-se, em grande escala, com os derrames da formação Serra Geral, tornando complexa a delimitação de ambas em âmbito regional. Os derrames basálticos afloram no topo e no reverso da cuesta basáltica e em morros testemunhos, dela isolados pela erosão. Nos planaltos de rebordo dessas cuestas, tais derrames podem cobrir grandes extensões (COSTA, 2005).
Botucatu	A formação Botucatu em São Paulo encontra-se exposta numa faixa contínua às faldas e escarpas das serras basálticas. É constituída por arenitos de granulação fina a média, de coloração vermelha, rósea ou amarelo-clara, apresentando na base corpos de arenitos conglomeráticos (IPT, 1981).
Piramboia	A formação Piramboia tem como característica os depósitos fluviais incluindo arenitos finos e médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificação cruzada ou plano-paralela com níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variegadas e raras intercalações de natureza areno-argilosa (IPT, 1981).

Corumbataí	A formação Corumbataí possui depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos, sillexitos e camadas de arenitos finos (IPT, 1981).
------------	--

Com base em dados do IPT (1981), a bacia do Ribeirão Monjolo Grande está inserida na Província Geomorfológica da Depressão Periférica Paulista, caracterizada por um relevo formado por colinas, com altitudes variando entre 550 e 600m. Entretanto, na área aparecem pequenos maciços residuais, associados ao relevo das Cuestas Basálticas, com altitudes próximas a 900 m. Possui topografia pouco acidentada, colinas baixas de formas convexas suavizadas, separadas por vales, sem planícies aluviais importantes, com uma drenagem bem organizada no padrão dendrítico, especialmente nas cabeceiras e setores com controle estrutural, particularmente no canal do Córrego Monjolo Grande, em seu baixo curso.

De acordo com Prado e Oliveira (1984) os aspectos pedológicos indicam a ocorrência de Latossolo Vermelho, Neossolos Quartzarênicos profundos associados ao Latossolo Vermelho, tendo como material de origem os arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia, e na transição com o relevo das Cuestas Basálticas há a presença de Neossolos Litólicos relacionados às Formações Serra Geral e Botucatu, no alto curso da bacia. Em relação às características geológicas, a bacia do Córrego Monjolo Grande insere-se no contexto da Bacia Sedimentar do Paraná.

4. Materiais e métodos

Em termos metodológicos, a presente pesquisa foi realizada com base na abordagem sistêmica. Nesse sentido, as principais etapas foram sintetizadas de acordo com as figuras a seguir (2a, 2b, 2c) e, posteriormente, detalhadas em tópicos específicos.

Figura 2a

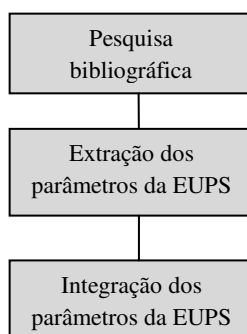
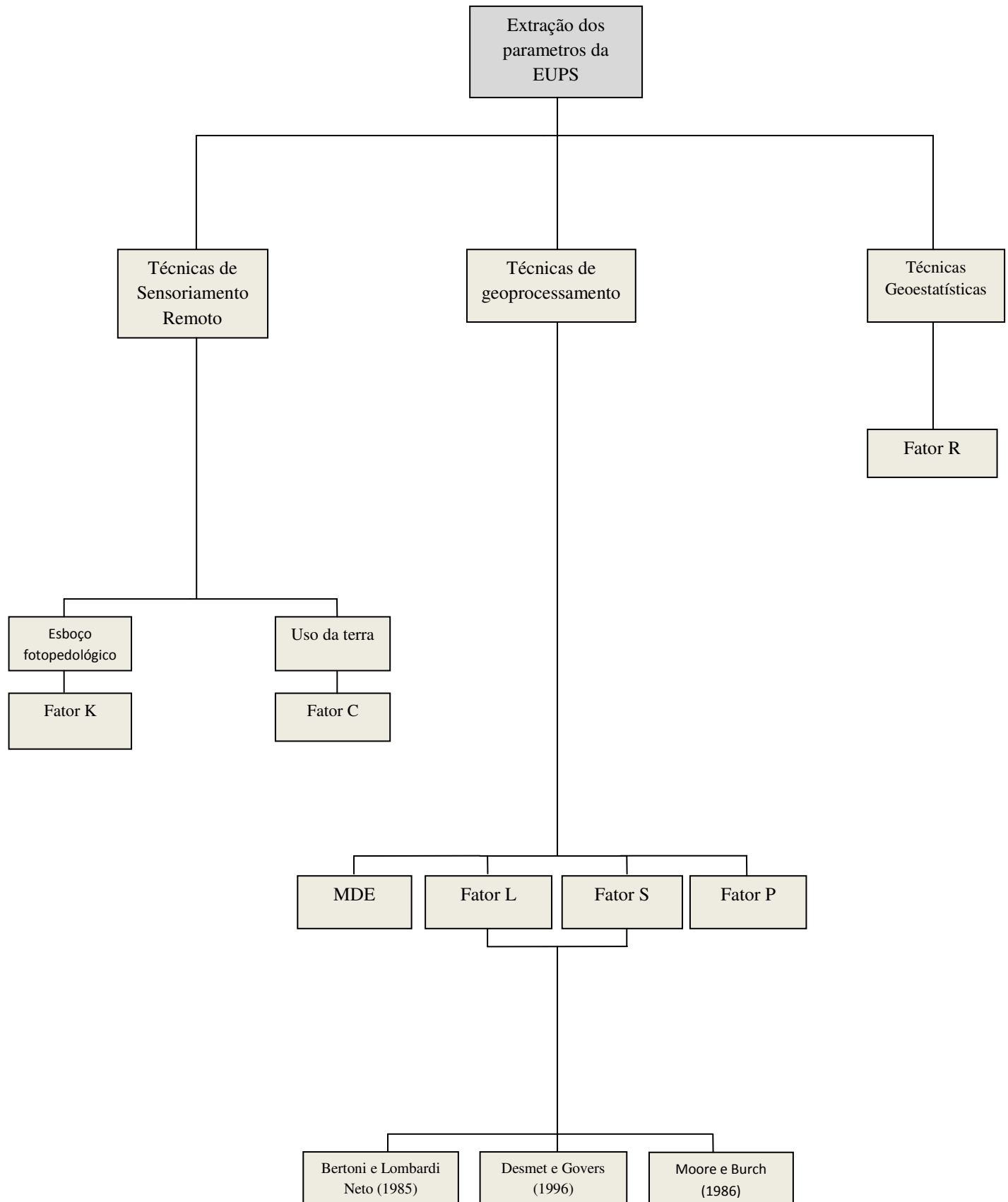
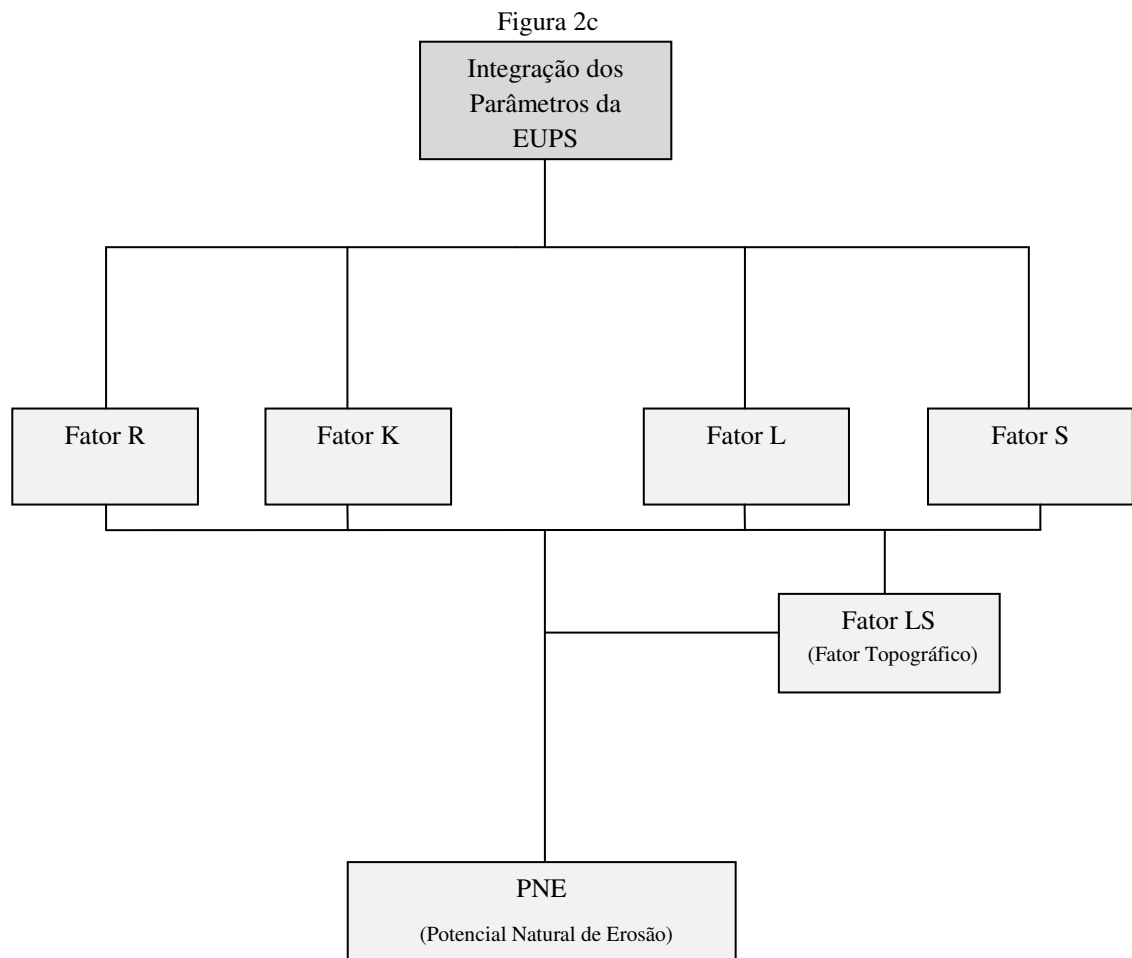


Figura 2b





4.1. Levantamento Bibliográfico e Estruturação do Banco de Dados

Para o desenvolvimento desse trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico, referentes à Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), bem como suas aplicações na predição na erosão dos solos pelo escoamento superficial das águas pluviais.

Foram realizados procedimentos de vetorização dos dados altimétricos e planimétricos da base cartográfica (Folha da Carta Topográfica Rio Claro 1:50.000 – IBGE e Carta Topográfica 1:10.000 do IGC/SP)

Através da articulação das folhas das cartas topográficas que compõem área da bacia hidrográfica (Jardim Ubá – SF-23-Y-A-I-3-NE-D, Bairro Itapé - SF-23-Y-A-I-3-SE-B, Morro do Bizigueli – SF-23-Y-A-I-3-NE-F, Ribeirão Monjolo Grande - SF-23-Y-A-I-3-NO-E, Ribeirão da Lapa SF-23-Y-A-I-3-SE-S e Rio Passa Cinco SF-23-Y-A-I-3-SO-A), foram obtidos, através do processo de vetorização, os dados referentes às curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e limite da área da bacia, com a utilização do SIG ArcGIS. Com esses

dados, foi estruturado e implementado um banco de dados georreferenciados, no qual estão contidas informações referentes à bacia hidrográfica em estudo.

Articulação das folhas das cartas topográficas na abrangência da área da bacia hidrográfica do córrego do Monjolo Grande- SP (1:10.000, IGC, 1979)

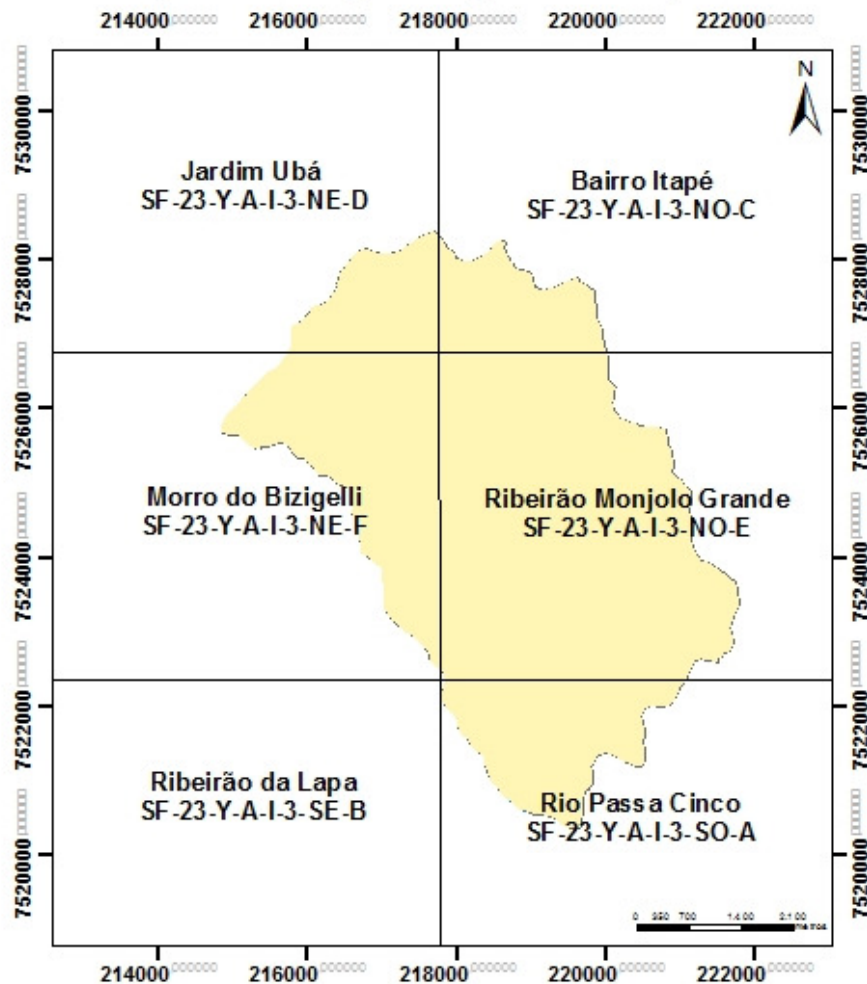


Figura 3 - Articulação das folhas que compõem a bacia do ribeirão Monjolo Grande (PEREIRA, 2010)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado a partir das curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. Tal produto foi obtido no ambiente do SIG ArcGIS, com grade celular de 3 metros (função *Topo to Raster* da ferramenta *Raster Interpolation*, pertencente ao conjunto *3D Analyst*).

Após a elaboração do MDE, foi aplicada a função *Fill*, da ferramenta *Hidrology*, pertencente ao conjunto *Spatial Analyst Tools*, visando a edição final. A função *Fill* é o primeiro tratamento dado a uma matriz de altitudes, o qual consiste no preenchimento de

pequenas depressões que possam ser geradas durante a confecção do MDE. Tais depressões são preenchidas levando em consideração o valor altimétrico dos pixels vizinhos.

4.2. Declividade e Hipsometria

Os mapas de declividade foram obtidos a partir dos valores de altimetria das curvas de nível, dos pontos cotados e do limite da área da bacia, através da função *Slope* da ferramenta *Raster Surface*, pertencente ao conjunto *3D Analyst Tools*. A declividade foi gerada em porcentagem em função de sua aplicação no modelo EUPS.

A carta de classes de declividade pode ser definida de acordo com os seguintes intervalos de classe, conforme Lepsch et al. (1991), indicadas na tabela 1.

Tabela 1 - Classes de declividade e tipos de relevo

Classes de Declividade	Relevo	Grau de Limitação ao Cultivo agrícola
0 – 3%	Áreas Planas	Nulo (N)
3 – 6%	Suaves Onduladas	Ligeiro (L)
6 – 12%	Ondulado	Moderado (M)
12 – 20%	Ondulado	Forte (F)
20 – 40%	Fortemente Ondulado	Muito Forte (MF)
40% - 75%	Montanhoso	Extremamente Forte

O mapa hipsométrico foi gerado com a finalidade de realçar as diferenças de geometria do relevo e facilitar a visualização do perfil topográfico. Para tanto, optou-se por classificar a carta hipsométrica em um grande número de classes, com intervalos menores e iguais para as cotas altimétricas que ocorrem com maior frequência na bacia.

Os mapas finais foram elaborados através do software *ArcGIS* (função *layout view*), no qual foram inseridos os títulos, grade de coordenadas e legendas.

4.3. Obtenção dos Fatores da EUPS

4.3.1. Metodologias para Obtenção do Fator Topográfico (LS)

Foram pesquisadas e estudadas diversas propostas para a obtenção da extensão de vertente (Fator L), declividade (Fator S) e do Fator Topográfico (LS). Dentre as propostas estudadas e testadas, para efeito de comparação, foram escolhidas três: Bertoni e Lombardi Neto (1985), Desmet e Govers (1996) e a de Moore e Burch (1986).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o comprimento de rampa pode ser caracterizado como sendo a distância do ponto de caimento da água até o ponto em que ela decresce, delimitando o início de uma sedimentação, podendo ser uma ruptura de vertente junto aos vales ou o encontro com um canal definido.

4.3.1.1. Proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985)

Na segunda proposta utilizada, a extensão da vertente foi calculada a partir do traçado de segmentos, ligando a cota mais alta à cota de base, para toda a bacia. O traçado desses segmentos foi realizado através do software *Autodesk Map*. Definiu-se, para a obtenção do Fator L, a média dos segmentos para cada quadrícula do mapa (quadrículas de 1 km²).

Através do software *Spring 5.1.8* foi gerado o mapa de extensão de vertentes, que foi classificado em cinco classes: 0-100; 101-200; 201-300; 301-400; >400. O mapa resultante foi exportado com extensão “*dxf*” para o software *ArcGIS*, no qual teve sua extensão convertida para “*shp*” (através de ferramenta *Export to Geodatabase* do programa *ArcCatalog*).

Os dados relativos à média da extensão de vertentes por quadrícula foram inseridos na tabela de atributos do mapa. Em seguida, o mesmo teve seu formato convertido de “polígono” para “raster” (através da função *Poligon to Raster* do conjunto *Conversion Tools*).

Pela ferramenta *Raster Calculator*, a junção dos mapas de extensão de vertentes e de declividade resultou, através da equação 6, no mapa do Fator LS (Fator Topográfico).

4.3.1.2. Proposta de Desmet e Govers (1996)

Visando a determinação do Fator Topográfico (LS), a extensão de vertente (L) foi obtida de acordo com a proposta de Desmet e Govers (1996), que se baseia nas equações de Foster & Wischmeier (1974). Esses autores consideram o fluxo acumulado como estimativa do comprimento de rampa. O fluxo acumulado consiste na área a montante de cada *pixel*

denominada de área de contribuição que emprega o conceito de área de contribuição para o cálculo automático do comprimento de vertente.

De acordo com Silva (2003), para que se tenha este fator é necessária à obtenção do cálculo de declividade, da direção de fluxo e quantidade de fluxo acumulado à montante.

Com o MDE obtido anteriormente é gerado o mapa de Direção de Fluxo (ferramenta *Hidrology* do conjunto *Spatial Analyst Tools*), que é composto por oito direções distintas: 1 (Leste), 2 (Sudeste), 4 (Sul), 8 (Sudoeste), 16 (Oeste), 32 (Noroeste), 64 (Norte) e 128 (Nordeste). Esse mapa pode ser exemplificado através da figura 4.

32 NW	64 N	128 NE
16 W	Pixel central	1 E
8 SW	4 S	2 SE

Figura 4 - Valores de células para diferenciação das direções geográficas - modificado de Silva (2003)

Com base no mapa gerado, foi obtido o mapa de Fluxo Acumulado (ferramenta *Hidrology* do conjunto *Spatial Analyst Tools*). De acordo com Corrêa (2011), o mapa de Fluxo Acumulado define o número de células à montante que contribuem para uma determinada célula à jusante, sendo esse mapa um dos componentes do parâmetro “área de contribuição” ($A_{i,j-in}$) utilizada na geração do mapa de extensão de vertentes na proposta de Desmet e Govers (1996).

O parâmetro “direção de fluxo” foi obtido com base na reclassificação do Mapa de Direção de Fluxo: os valores 1, 4, 16 e 64, representantes dos pontos cardeais – L, S, O, N -, foram reclassificados para o valor de 0,5; e os valores de 2, 8, 32, e 128, representantes dos pontos colaterais – SE, SO, NO e NE -, reclassificados para 0,354.

O mapa de declividade foi obtido com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo posteriormente reclassificado conforme os valores necessários para a obtenção do parâmetro m (coeficiente angular). Esses valores foram obtidos conforme Silva (2003) de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Determinação do coeficiente angular (m)

Produto	ETAPAS		
	1º - Mapa de Declividade (%) (s)	2ª - reclassificação	3ª – Definição dos valores de <i>m</i>
<i>M</i>	$s < 1$	1	0,2
	$1 > s < 3$	2	0,3
	$3 > s < 5$	3	0,4
	$s > 5$	4	0,5

Com a definição dos parâmetros de declividade, de direção de fluxo e de área de contribuição e, utilizando o SIG *ArcGIS 10* (ferramenta *Raster Calculator* do conjunto *Spatial Analyst Tools*), foi obtido o Fator L da EUPS, conforme Desmet e Govers (1996), através da seguinte equação (Equação 5):

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m]} \quad (5)$$

Onde:

$L_{i,j}$: fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j);

$A_{i,j-in}$: área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2);

D: tamanho da grade de células (m); $x_{i,j}$: valor da direção do fluxo; e

m: coeficiente angular, que assume os valores expostos na terceira coluna do Quadro 2.

Após a obtenção do Fator L, foram excluídas as áreas de deposição com valores superiores a hipotenusa da grade de células (4,26256). Tal procedimento foi realizado através da função *Reclassify*, da ferramenta *Reclass*, pertencente ao conjunto *Spatial Analyst Tools*. De acordo com Corrêa (2011), esse procedimento é necessário pelo fato da EUPS estimar somente a erosão na vertente e não a deposição nas áreas de fluxo acumulado de água.

Os dados de declividade (%) foram obtidos com base no Modelo Numérico de Terreno (MNT), gerando o Modelo Digital de Elevação (MDE) que pode ser obtido através da função *Surface/Slope* do conjunto *Spatial Analyst Tools*.

Com os dados do Fator L obtidos pela equação 5 e os dados de declividade (%) foi gerado o mapa do Fator Topográfico (função *Raster Calculator*, ferramenta *Map Algebra*, pertencente ao conjunto *Spatial Analyst Tools*), tomando por base a proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985), na qual se tem o produto dos fatores L e S, resultando na seguinte equação (Equação 6):

$$LS = 0,00984 * L^{0.63} * S^{1.18} \quad (6)$$

Onde:

LS = Fator topográfico (adimensional);

L = Comprimento de vertente (metros);

S = Fator declividade (%).

Dentre os fatores topográficos, a declividade do terreno é essencial por estar associada à velocidade de escoamento e, conseqüentemente, ao potencial erosivo.

O calculo do fator declividade (Fator S) foi obtido com base na proposta de Desmet e Govers (1996). De acordo com estes autores, para o calculo do Fator S pode ser mantida a equação apresentada por Wischmeier e Smith (1978) (Equação 7).

$$S = 0,00654 S^2 + 0,0456s + 0,065 \quad (7)$$

Onde:

S = o fator de declividade (adimensional);

s = declividade média da vertente (%)

4.3.1.3 Proposta de Moore e Burch (1986)

A proposta de Moore e Burch (1986) utiliza um algoritmo que emprega o conceito de área de contribuição e requer a geração de um mapa de fluxo acumulado. Nesse sentido, a direção de fluxo e o fluxo acumulado a montante de cada pixel. Assim, o algoritmo possibilita o cálculo do fator topográfico para qualquer tipo de vertente.

A exemplo da proposta de Desmet e Govers (1996), foram gerados os mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado (ferramenta *Hidrology* do conjunto *Spatial Analyst Tools*), nos quais cada célula do MDE é codificada com base no fluxo das células vizinhas.

Com o MDE obtido anteriormente é gerado o mapa de Direção de Fluxo (ferramenta *Hidrology* do conjunto *Spatial Analyst Tools*), que é composto por oito direções distintas: 1 (Leste), 2 (Sudeste), 4 (Sul), 8 (Sudoeste), 16 (Oeste), 32 (Nordeste), 64 (Norte) e 128 (Nordeste). Esse procedimento pode ser exemplificado através da Figura 5:

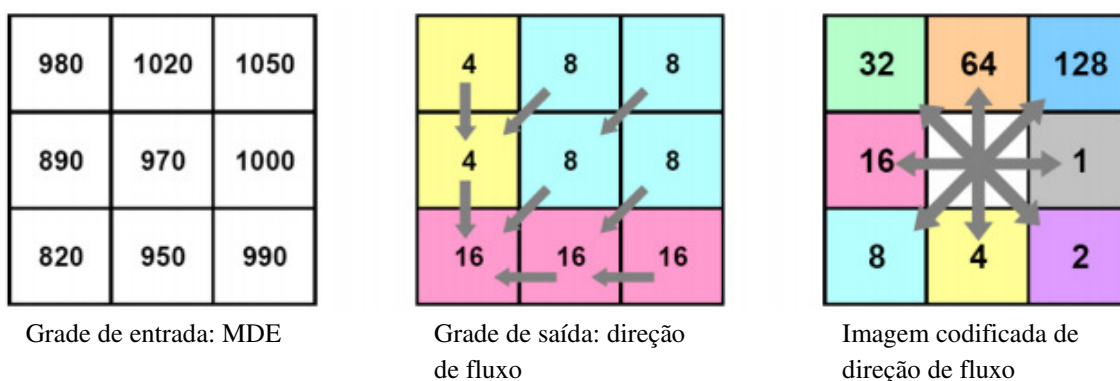


Figura 5 – Direção de fluxo gerada a partir do MDE

Adaptada de ESRI (2004)

Da mesma forma que na proposta de Desmet e Govers (1996), o parâmetro “direção de fluxo” foi obtido com base na reclassificação do Mapa de Direção de Fluxo: os valores 1, 4, 16 e 64, representantes dos pontos cardeais – L, S, O, N -, foram reclassificados para o valor de 0,5; e os valores de 2, 8, 32, e 128, representantes dos pontos colaterais – SE, SO, NO e NE -, reclassificados para 0,354.

A proposta de Moore e Burch (1986) busca a estimativa do Fator Topográfico (LS) com base no fluxo acumulado e na declividade, fornecida pela Equação 8:

$$LS = \left[\frac{As}{22,13} \right]^m * \left[\frac{\text{sen } \theta}{0,0896} \right]^n \quad (8)$$

Onde:

As - corresponde à área de contribuição específica por unidade de largura ortogonal à linha de fluxo (m^2m^{-1})

Θ – declividade expressa em graus radianos

22,13 – comprimento padrão da EUPS

0,0896 – declive padrão da EUPS

m e n – interação entre os diferentes tipos de fluxo

Moore e Wilson (1992) adotam para m e n os valores 0,4 e 1,3, respectivamente. Deste modo, a equação (9) resultante é:

$$LS = \left[\frac{As}{22,13} \right]^{0,4} * \left[\frac{\text{sen } \Theta}{0,0896} \right]^{1,3} \quad (9)$$

Onde:

As – produto do “fluxo acumulado” pela resolução da célula (3 metros)

Sen Θ – seno da declividade expressa em graus radianos

22,13 – comprimento padrão da EUPS

0,0896 – declive padrão da EUPS

4.4. Erosividade da Chuva (Fator R)

O Fator R é um índice que expressa a capacidade da chuva, em esperada localidade, de causar erosão em um solo sem proteção.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985), as perdas de solo ocasionadas pelas chuvas nos terrenos cultivados são diretamente proporcionais ao valor de dois produtos da chuva: a energia cinética total e a sua intensidade máxima em trinta minutos.

Trabalhos realizados Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Lopes e Brito (1993), estudaram diversos índices de erosividade e consideraram o EI_{30} como o índice mais adequado á realidade intertropical, cujas chuvas em geral apresentam alta intensidade e curta duração.

Na presente pesquisa, os dados do Fator R foram obtidos de acordo com a proposta de Lombardi Neto e Moldenhauer (apud BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), onde o valor médio do índice de erosividade se dá pela relação entre a média mensal e a média anual de precipitação (Equação 10):

$$EI_{30} = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad (10)$$

Onde:

EI_{30} = média mensal do índice de erosividade (MJ.mm/ha.h);

r = média do total mensal de precipitação (mm);

P = média do total anual de precipitação (mm).

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos a partir do banco de dados do DAEE-SP. Não há registradores de chuva localizados no interior da bacia hidrográfica em estudo. Contudo, foram selecionados postos pluviométricos localizados nas cidades adjacentes. Deste modo, foi obtido, para cada posto, o valor da erosividade (Fator R) por meio da equação 10. Pelo método de Krigagem Ordinária, foi obtida a erosividade para a bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande.

4.5. Erodibilidade do Solo (Fator K)

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985), a erodibilidade de um solo pode ser definida como a susceptibilidade a erosão de um solo quando as condições de declive, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas são iguais. Para Wischmeier e Smith (1978), alguns solos são mais facilmente erodidos que outros e essa diferença reside nas propriedades inerentes a cada tipo de solo, sendo estas referidas como erodibilidade do solo. A erodibilidade do solo é expressa na EUPS pelo Fator K. Esse fator pode ser calculado por meio de parcelas experimentais controladas ou através do ábaco elaborado por Wischmeier et al (1978), o qual utiliza a análise granulométrica, o teor de matéria orgânica, a estrutura e a permeabilidade do solo para a obtenção do Fator K.

Nesta pesquisa, o Fator K foi obtido com base no esboço fotopedológico do trabalho de Corrêa (2011) e em visitas a campo realizadas periodicamente durante o processo de desenvolvimento desta pesquisa. Nessas visitas foram mapeados perfis de topossequência e realizadas tradagens nos pontos correspondentes às quebras de relevo. Tais tradagens tiveram até 120 centímetros de profundidade, resultando na coleta de 6 amostras por tradagem (1 coleta a cada 20 cm).

Tendo como fundamentação metodológica as técnicas de fotopedologia, propostas por Amaral (1972), e classificação das unidades pedológicas mapeadas, conforme Demattê (2010) foi obtido o esboço fotopedológico da área de estudo. Com o apoio da base cartográfica (1:10.000 – IGC/SP, 1979), e dos trabalhos de levantamento de solos realizados por Oliveira e Prado (1984), determinou-se 5 unidades fotopedológicas e suas respectivas classes de solo, descritos no quadro abaixo (2).

Quadro 2 – Solos obtidos do esboço fotopedológico da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (Ipeúna-SP)

Unidades	Tipos de Solo
Unidade I	Argissolo Vermelho Amarelo
Unidade II	Cambissolo Distrófico
Unidade III	Latossolo Vermelho Amarelo
Unidade IV	Neossolo Litólico
Unidade V	Neossolo Quartzarênico

Foram realizadas análises físicas e químicas das amostras obtidas em campo para determinação das classes de solo. Tais análises contribuíram para o conhecimento da dinâmica de drenagem dos solos, bem como para a obtenção do Fator K da EUPS.

4.6. Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE) pode ser caracterizado como um indicador de fragilidade ambiental. De acordo com Stein et. al. (1997), o Potencial Natural à Erosão representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar. No âmbito da EUPS, o PNE considera somente os fatores relacionados ao meio físico: Erosividade da chuva (Fator R), Erodibilidade do Solo (Fator K), Extensão de

Vertente (Fator L) e Declividade (Fator S). A união desses fatores corresponde à estimativa de perda de solo em áreas desprovidas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica.

Os fatores referentes aos parâmetros do meio físico foram combinados em ambiente SIG, por meio da equação (11) proposta por Donzelli et. al. (1992):

$$PNE = R * K * (0,00984 * L^{0,63} * S^{1,18}) \quad (11)$$

Onde:

PNE = Potencial Natural de Erosão (t ha-1 ano-1);

R = Fator Erosividade da chuva (MJ mm ha-1 h-1 ano-1);

K = Fator Erodibilidade do solo (t h MJ-1 mm-1);

L = Fator comprimento de vertente (adimensional);

S = Fator grau de declive (%).

Para a obtenção do produto dos fatores, foi utilizada a opção Raster Calculator, pertencente ao conjunto de ferramentas Spatial Analyst Tools, do *software* ArcGIS.

4.7. Uso e Manejo da terra (Fator C)

Para a determinação do fator de uso e manejo da terra, foram indicadas as classes temáticas existentes na bacia hidrográfica, de acordo com Anderson et al (1976).

Para a classificação temática foram analisadas as características espectrais de atributos dos alvos na imagem (imagem orbital Ikonos, PAN/MS, ano 2013), tais como formas, cor, padrões texturais e distribuição dos elementos. Tais classes e suas respectivas características foram sintetizadas (Quadro 3) no trabalho realizado por Pereira (2010).

Quadro 3.

Classes de uso da terra	Aspectos fitofisionômicos
Mata natural	Formação Vegetal inteiramente dominada por árvores de estrutura complexa, apresentando grande riqueza de espécies. Possui três estratos, classificados em relação a seu porte: estrato superior, intermediário e inferior, variando de 3 a 20 metros de altura. Dentro desta classe também se incluiu as vegetações consideradas naturais, como as matas ciliares e as matas de encosta.
Silvicultura	São formações disciplinadas e homogêneas quanto a sua essência, plantadas de forma condensada para suprimento industrial, e em talhões isolados para consumo interno dos estabelecimentos rurais.
Cana-de-açúcar	Geralmente em grandes áreas, apresentam formas regulares. Possuem talhões bem definidos e carreadores de pequeno espaçamento. Acompanhadas de solos frequentemente escuros devido à prática das queimadas, o cultivo da cana de açúcar ganha destaque por ser o principal produto agrícola da região de Piracicaba. Da maneira que os aerolevantamentos são realizados durante vários meses do ano, uma mesma coleção de fotos pode conter diferentes fases do desenvolvimento da cana, que vai desde seu brotamento até sua fase de corte. Diferentes estágios do mesmo alvo manifestarão diferentes respostas espectrais.
Pastagem	Este tipo de área caracteriza-se por uma cobertura graminóide e herbácea, em sua maior parte, artificiais. Observa-se a ausência de árvores. São áreas de topografia suave e seus limites normalmente são curvilíneos.
Pasto degradado	São Campos com pequenas árvores e arbustos esparsos, disseminados num substrato graminóide, geralmente barba-de-bode e capim gordura. Sua vegetação arbustiva de porte atrofiado pode atingir até 3 metros de altura.
Áreas industriais	Tais feições antrópicas de ocupação apresentam características bastante particulares e conspícuas nas imagens.
Solo exposto	Áreas ausentes de qualquer formação vegetal, em que se evidencie unicamente a exposição de solo. Incluem-se nessa classe as áreas também aquelas destinadas ao preparo agrícola.

Fonte: Donzeli et al. (1986) modificado por Pereira (2010)

Após a etapa de fotointerpretação, foi realizada a vetorização dos limites das classes através do SIG ArcGIS. Nesse sentido, vale ressaltar que foram realizadas visitas periódicas a campo com o objetivo de atualizar e confirmar as informações obtidas através do processo de fotointerpretação.

4.7.1. Definição das classes de uso da terra

A presente classificação foi proposta por Anderson et al (1979) e leva em consideração as características da área a ser mapeada, bem como as características do sensor utilizado. Em primeiro momento, foram definidas as categorias de ocupação das terras, que se desenvolveram

paralelamente ao estabelecimento dos padrões de cada categoria. Tais categorias foram organizadas e sintetizadas por Pereira (2010). Desta forma, ficaram assim estabelecidas:

4.7.1.1. Classe 1 – Mata

Formação Vegetal inteiramente dominada por árvores de estrutura complexa, apresentando grande riqueza de espécies. Possui três estratos, classificados em relação à seu porte: estrato superior, intermediário e inferior, variando de 3 a 20 metros de altura. Dentro desta classe estão inclusas as vegetações consideradas naturais, como as matas ciliares e as matas de encosta.

Textura: A textura se apresenta de maneira grosseira, dada a grande variedade de espécies e suas diferentes alturas, caracterizando um dossel heterogêneo.

Tonalidade: Pela grande quantidade de radiação absorvida por estas formações, apresenta nível de cinza escuro no degrade de tons de cinza.

4.7.1.2. Classe 2 – Silvicultura

São formações disciplinadas e homogêneas quanto a sua essência, plantadas de forma condensada para suprimimento industrial, e em talhões isolados para consumo interno dos estabelecimentos rurais.

Textura: Com finalidade comercial, suas sementes são selecionadas em laboratórios resultando em indivíduos extremamente homogêneos. No Brasil predominam as espécies de *Pinus* e *Eucalyptus ssp.*, as quais possuem uma estrutura cônica, e seus dosséis pontiagudos não se tocam. Esta é a principal característica que lhe confere uma textura média, dada a suave irregularidade das copas pontiagudas.

Forma: como produtos do trabalho antrópico, apresentam formas geométricas bem definidas, além dos talhões abertos utilizados como carreadores.

4.7.1.3. Classe 3 – Cana

Apresentam formas regulares, possuem talhões bem definidos e carreadores de pequeno espaçamento. Tais áreas são frequentemente acompanhadas de solos escuros devido a prática de queimadas, a presença do cultivo da cana de açúcar ganha destaque pelo fato de ser o principal produto agrícola da região da área de estudo. Considerando o fato dos

aerolevantamentos serem realizados durante vários meses do ano, uma mesma coleção de fotos pode conter diferentes estágios fenológicos da cana, resultando em diferentes respostas espectrais.

Para Koffler (1983, apud PEREIRA 2010), existem três estágios evolutivos no cultivo de cana, resultando em diferentes aspectos em uma imagem orbital. São eles:

a) Cana adulta: em estágio avançado de desenvolvimento

Textura: aveludada fina

Porte: baixo, visível ao estereoscópio.

Tonalidade: cinza média

b) Cana cortada: áreas colhidas durante a safra.

Textura: fina e descontínua (aspecto penteado)

Porte: ausente ou rasteiro, pouco ou nada perceptível ao estereoscópio

Tonalidade: Cinza claro ou esbranquiçado (devido à ausência da vegetação)

c) Cana Nova: Em início de desenvolvimento

Textura: Fina e contínua

Porte: Rasteiro, sem destaque ao estereoscópio

Tonalidade: Variável, conforme a idade e o tipo de solo. Em geral cinza médio em áreas de solo argilosos e branco ou cinza claro em áreas de solos arenosos.

No mapeamento realizado neste trabalho foi considerada apenas uma classe de cana, independente de seu estágio de desenvolvimento.

4.7.1.4. Classe 4 – Pastagem

Este tipo de área caracteriza-se por uma cobertura graminóide e herbácea, em sua maior parte, artificiais. Observa-se a ausência de árvores. São áreas de topografia suave e seus limites normalmente são curvilíneos.

Textura: Fina e homogênea.

Tonalidade: Tons de cinza variando de claro à médio.

4.7.1.5. Classe 5 - Área Urbana

Tais feições antrópicas de ocupação apresentam características bastante particulares e conspícuas nas imagens. A estrutura urbana, na qual se destacam os arruamentos, permite boa definição desta categoria.

Textura: Heterogênea e grossa

Tonalidade: Cinza escura

Em razão de a área de estudo ser de natureza rural, suas construções estão localizadas em pontos isolados. Desta forma, não existem alvos que possam ser classificados como área urbana.

Os valores do Fator C da MEUPS foram atribuídos conforme o indicado em Donzeli et al. (1992), Pinto (1996) e Formaggio et al. (1996) (Tabela 3).

Tabela 3 – Classes temáticas de uso da terra e valores do fator C

Classes temáticas de uso da terra	Valores do fator C
Mata natural	0,0001
Pastagem	0,005
Silvicultura	0,0158
Cana-de-açúcar	0,05
Solo exposto	1

4.8. Prática Conservacionista (Fator P)

O Fator P consiste na relação entre a intensidade esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Dentre as práticas conservacionistas mais tradicionais estão: plantio em contorno, terraceamento, e alternância de capinas.

Os valores de P para as práticas conservacionistas do solo contra a erosão, obtidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico, estão exemplificados na tabela 4.

Tabela 4 – Práticas conservacionistas e respectivos valores de P

Práticas Conservacionistas	Valor de P
Plantio no sentido do declive	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Modificado de Bertoni e Lombardi Neto (1985)

Para a bacia hidrográfica do Córrego Monjolo Grande, área de elevada declividade, o Fator P foi obtido com base no gradiente de declividade, que é considerado um fator limitante.

5. Resultados

Com base nos procedimentos metodológicos descritos, serão apresentados a seguir os produtos cartográficos obtidos bem como análises conduzidas por uma abordagem sistêmica.

Foram gerados, com base em dois bancos de dados, mapas de classes de declividade da bacia hidrografia do ribeirão Monjolo Grande, 1:10.000 e 1:50.000. O mapa 1:10.000, por possuir menor equidistância entre as curvas de nível (5 metros), resultou em uma melhor e mais nítida representação do relevo e das classes de declividade existentes para a área de estudo. Nesse contexto foram gerados mapas de hipsometria em ambas as escalas, apresentando as classes altimétricas existentes para a área da bacia. Analisando os produtos obtidos, constatou-se que o mapa 1:10.000 permitiu nítida visualização dos padrões altimétricos da bacia. Portanto, essa escala permite melhor e mais nítida visualização dos padrões morfométricos da área de estudo.

5.1. Hipsometria e Relevo

De acordo com o mapa altimétrico obtido (Figura 6), a bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande possui seu ponto de menor altitude em 551,663 metros e o ponto de maior altitude em 999,693 metros.

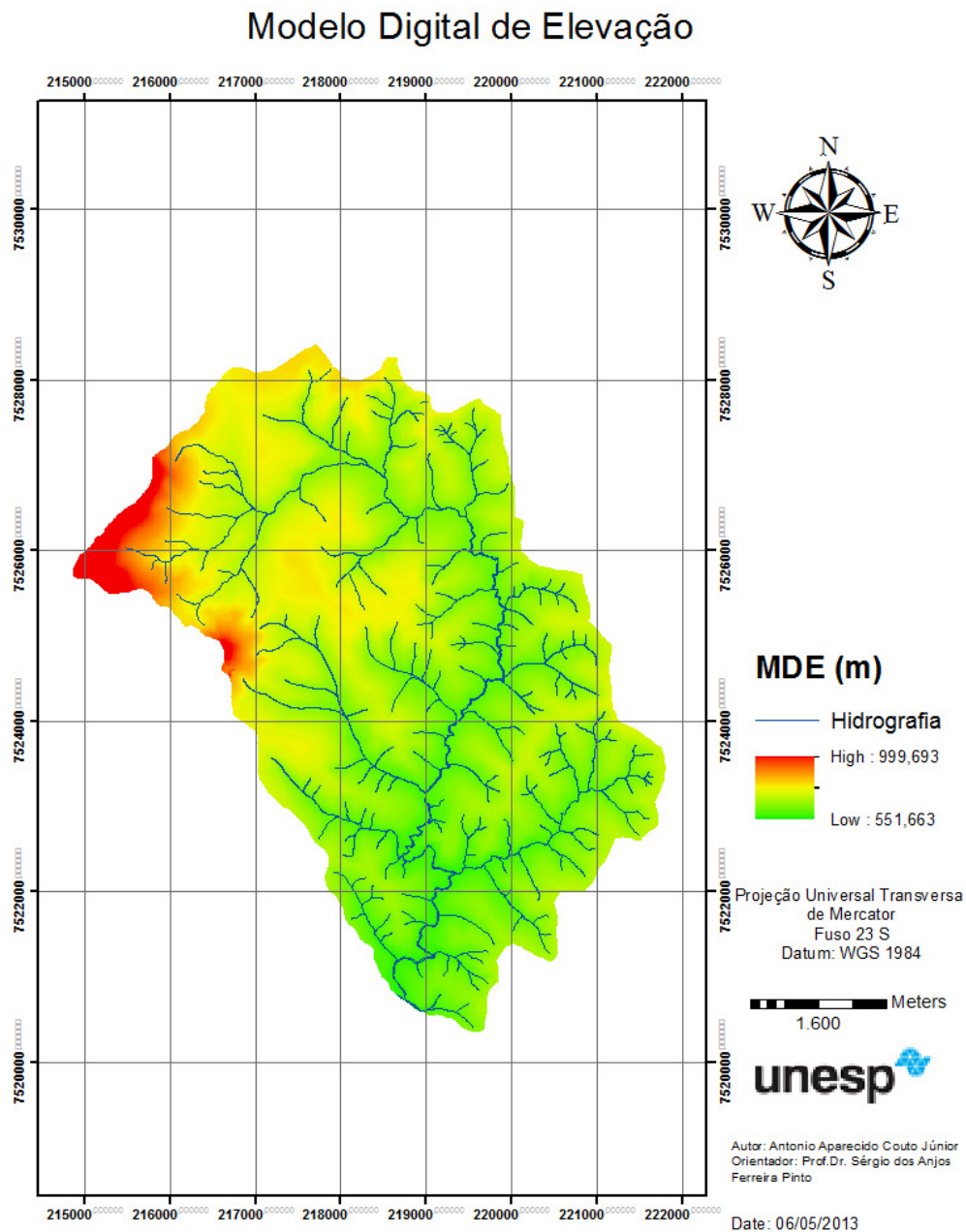


Figura 6 – Modelo Digital de Elevação da bacia do ribeirão Monjolo Grande

Modelo Digital de Elevação (MDE) da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (Ipeúna-SP)

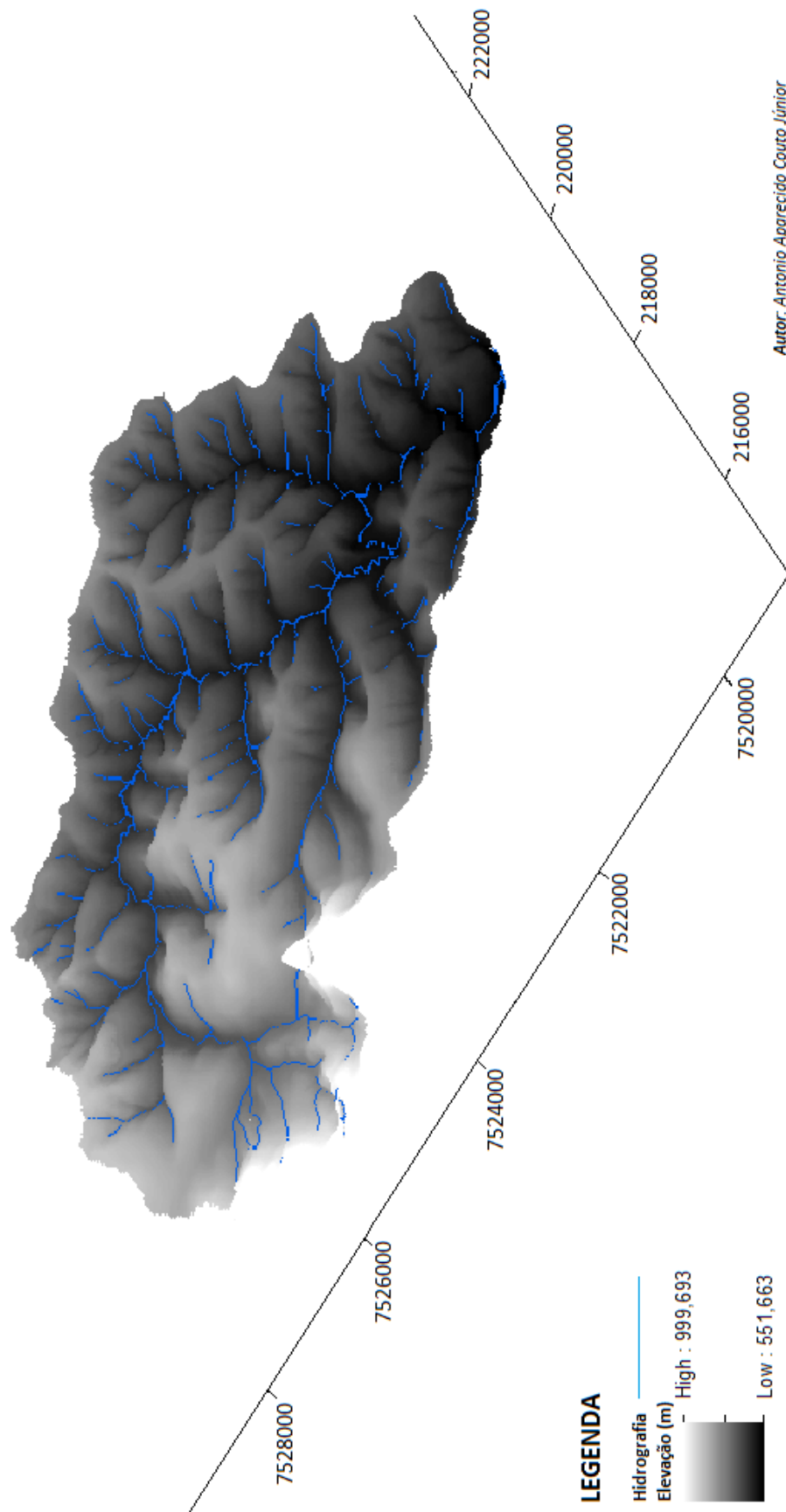


Figura 7 – Modelo Digital de Elevação da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande

De acordo com o mapa hipsométrico obtido (Figura 8), a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande possui uma variação altimétrica de 560 metros, sendo sua cota mais baixa no valor de 550 metros e a mais alta no valor de 990 metros.

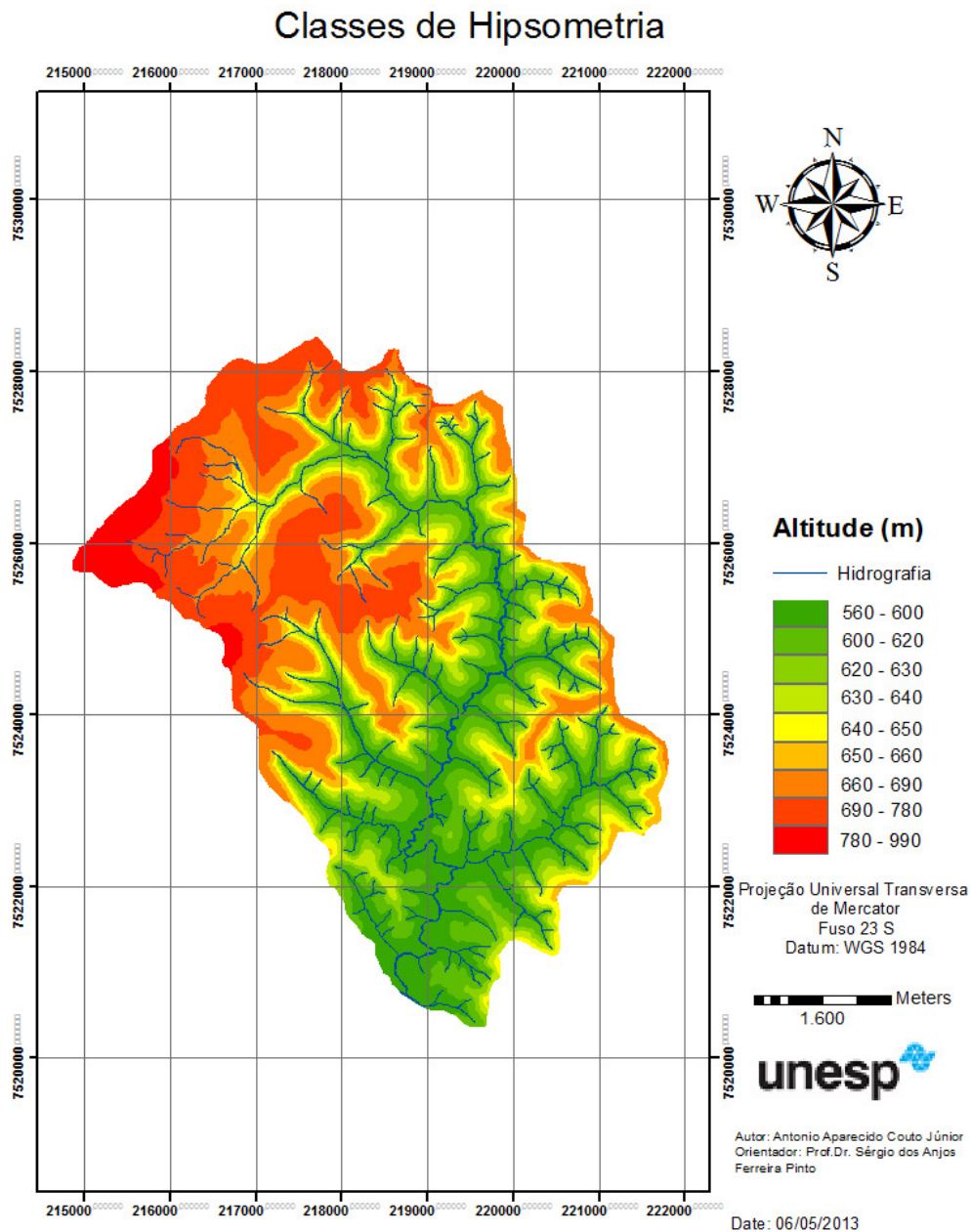


Figura 8 – Classes de Hipsometria para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

Em termos percentuais, 27,07% da área total da bacia possui altitudes que variam entre 600 e 650 metros. 36,05% da área total possui entre 650 e 700 metros de altitude, 11,40% apresenta altitudes entre 700 e 750 metros, 4,34% entre 750 e 800, 3,56% entre 800 e 850, e 2,54% entre 850 e 900 metros.

A distribuição das classes hipsométricas pode ser exemplificada no Quadro 4.

Quadro 4.

Classes Hipsométricas	
Classes (metros)	Área (%)
560 – 600	11,02
600 – 650	27,07
650 – 700	36,05
700 – 750	11,40
750 – 800	4,34
800 – 850	3,56
850 – 900	2,54
900 – 950	2,17
950 – 990	1,54



Figura 9 - Relevo da bacia do ribeirão Monjolo Grande (MORAES, 2013)

As menores altitudes estão entre 560 e 600 metros, representando 11,02% da área total. As altitudes maiores que 750 metros estão restritas a pequenas porções da bacia, sendo

que os pontos mais altos correspondem aos morros testemunhos do Biziguelli (990 metros) e da Guarita (914 metros). As áreas situadas entre 650 e 750m predominam nos setores Sul e Sudeste da bacia, a margem direita do Ribeirão Monjolo Grande, apresentando divisores de água extensos e interflúvios suaves, drenados por canais fluviais alongados e retilíneos. De acordo com o mapa de declividade obtido (Figura 10), as áreas mais planas estão situadas no setor central da bacia e podem ser classificadas como relevos planos e suave-ondulados, com declividades de 0 a 2% e de 2 a 6%, nos quais praticamente não há restrições ao cultivo agrícola, caracterizando-se como uma área propícia ao cultivo de cana de açúcar.

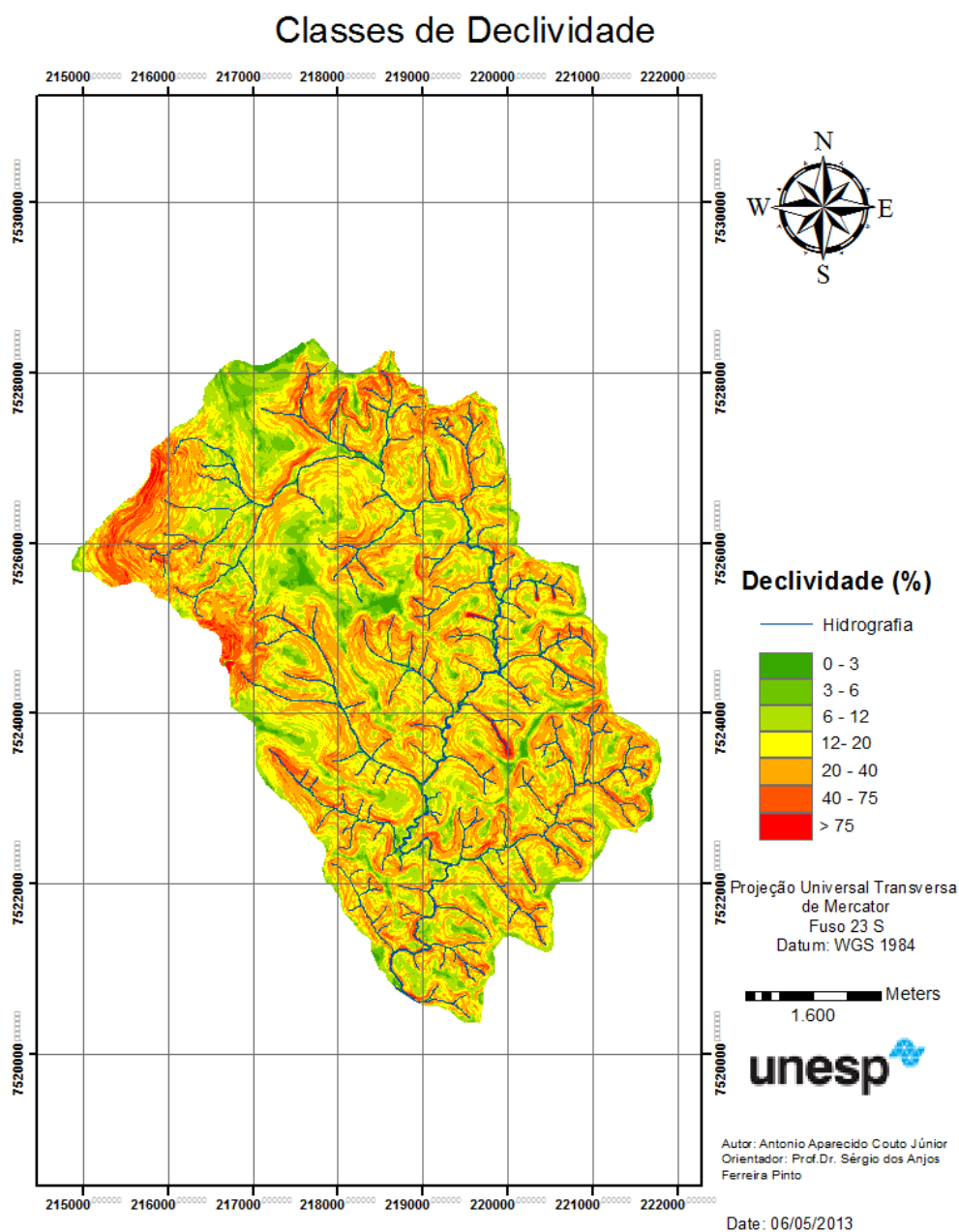


Figura 10 - Classes de declividade para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

Nos setores Norte e Nordeste, à margem esquerda do ribeirão Monjolo Grande, há a ocorrência de divisores estreitos, com vertentes abruptas e canais de drenagem mais curtos e encaixados. O relevo é predominantemente ondulado, com declives que variam de 12 a 20%, com grau de limitação ao cultivo agrícola variando de moderado à forte. No setor centro - oeste da bacia estão situadas as maiores altitudes, de 800 a 990 metros, e os maiores gradientes de declividade, que se iniciam em 20% e aumentam gradativamente até 40%, em áreas consideradas impróprias ao cultivo agrícola.

5.2. Fatores da EUPS

5.2.1. Comprimento de Rampa (Fator L) pela proposta de Desmet e Govers (1996)

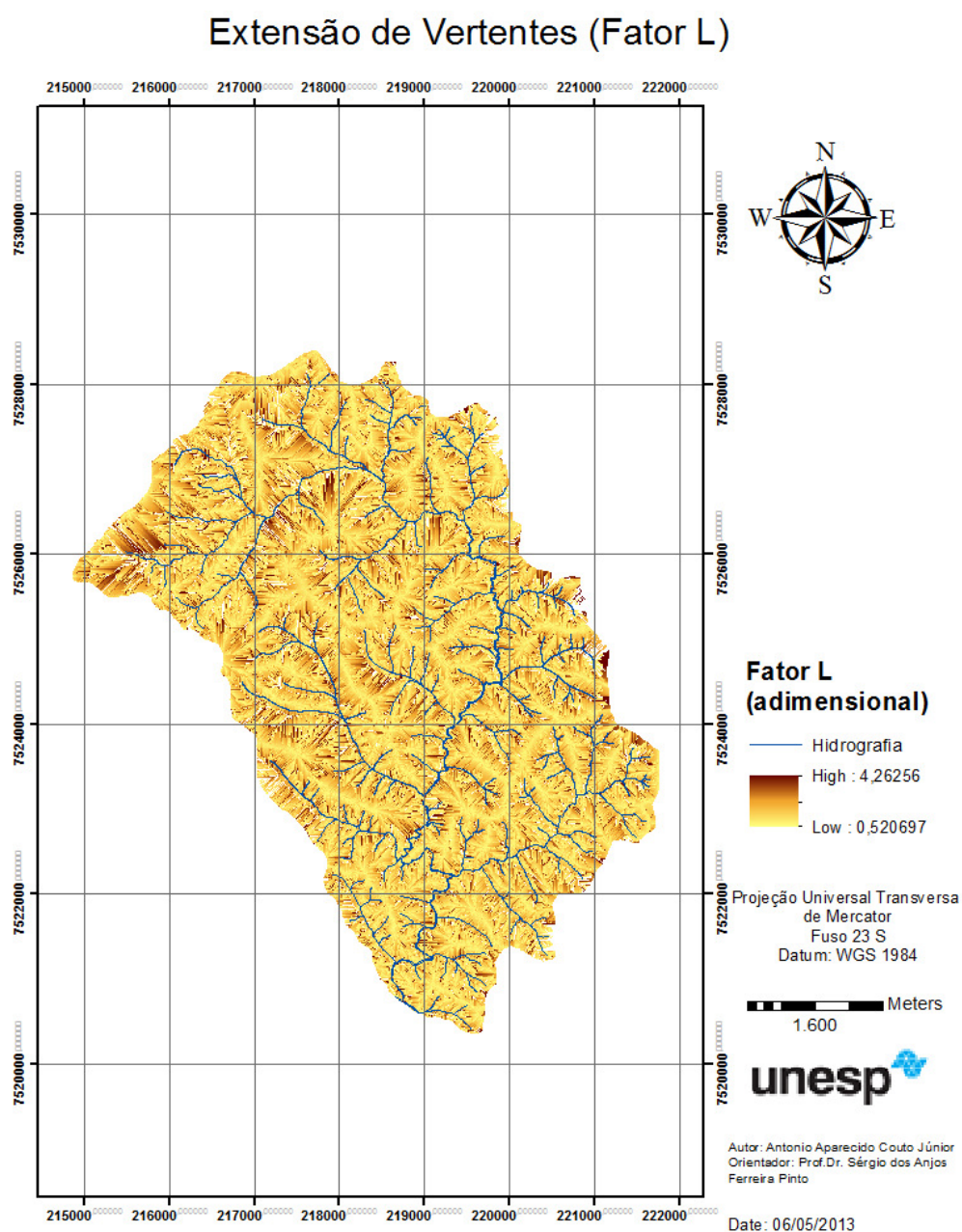


Figura 11 – Extensão de vertente (Fator L) para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

O Fator L (figura 11), obtido pela proposta de Desmet e Govers (1996), apresentou, para a bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande, valores variando entre 0,520697 e 4,26256 (valores adimensionais).

Os maiores valores de comprimento de rampa estão situados em áreas de vertente, enquanto os menores valores correspondem a regiões localizadas em interflúvios (divisores de água), onde há infiltração de águas pluviais.

5.2.2. Comprimento de Rampa (Fator L) pela proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985)

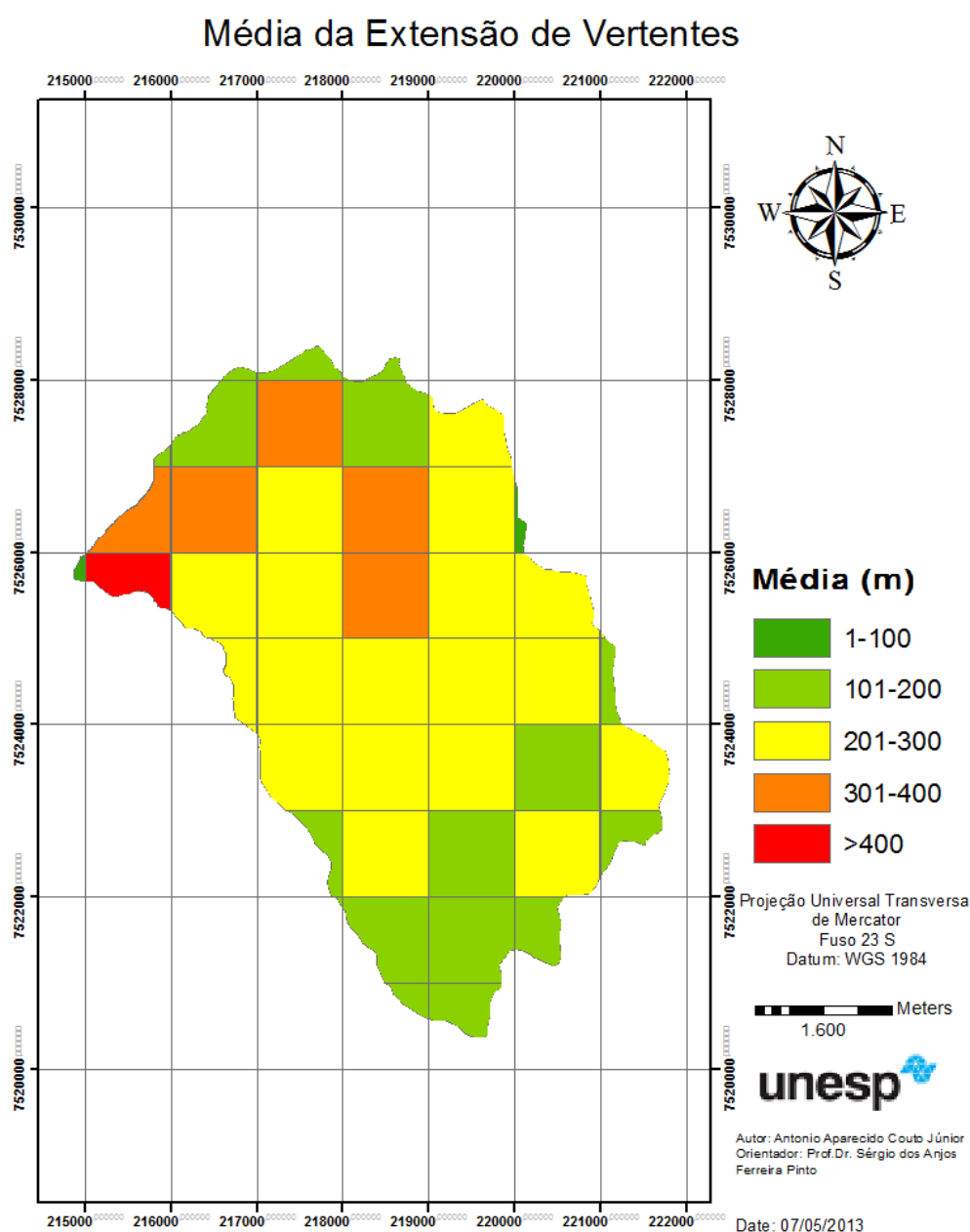


Figura 12 – Média de extensão de vertentes para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

Na segunda proposta utilizada (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), o Fator L (figura 12) foi calculado a partir do traçado de segmentos, ligando a cota mais alta à cota de base, para toda a bacia. Definiu-se, para a obtenção do fator em questão, a média dos segmentos para cada quadrícula do mapa (quadrículas de 1 km²). Os valores das médias variam de 65 a 694. Nesse sentido, pode-se observar que os menores valores estão situados no setor sul da bacia (áreas de interflúvios). Estes valores aumentam na medida em que se aproxima do setor central e atinge os maiores valores nas porções norte e oeste da bacia (áreas de vertente). Esta metodologia é baseada na estimativa de um valor médio para área de estudo, sendo, portanto, uma grande simplificação da realidade. Este fato se deve a dificuldade de individualização de cada vertente por meio de procedimentos manuais sobre cartas topográficas, fato que torna o procedimento difícil e cansativo.

5.2.3. Comparação entre as propostas

Em relação à comparação entre os métodos testados para a obtenção do Fator L, a proposta de Desmet e Govers (1996) foi a que melhor se enquadrou para a representação da área de estudo por ter a vantagem de fornecer, pixel a pixel, o valor da extensão da vertente. Deste modo, constitui um método mais preciso e representativo dos padrões morfométricos da área de estudo.

5.3. Fator Declividade (S)

O mapa do Fator S (figura 13) foi obtido pela proposta de Desmet e Govers (1996) por ser a metodologia que melhor representa os padrões de geometria de vertente para a área da bacia. O Fator S apresentou valores que variam de 0,065 a 27,7374.

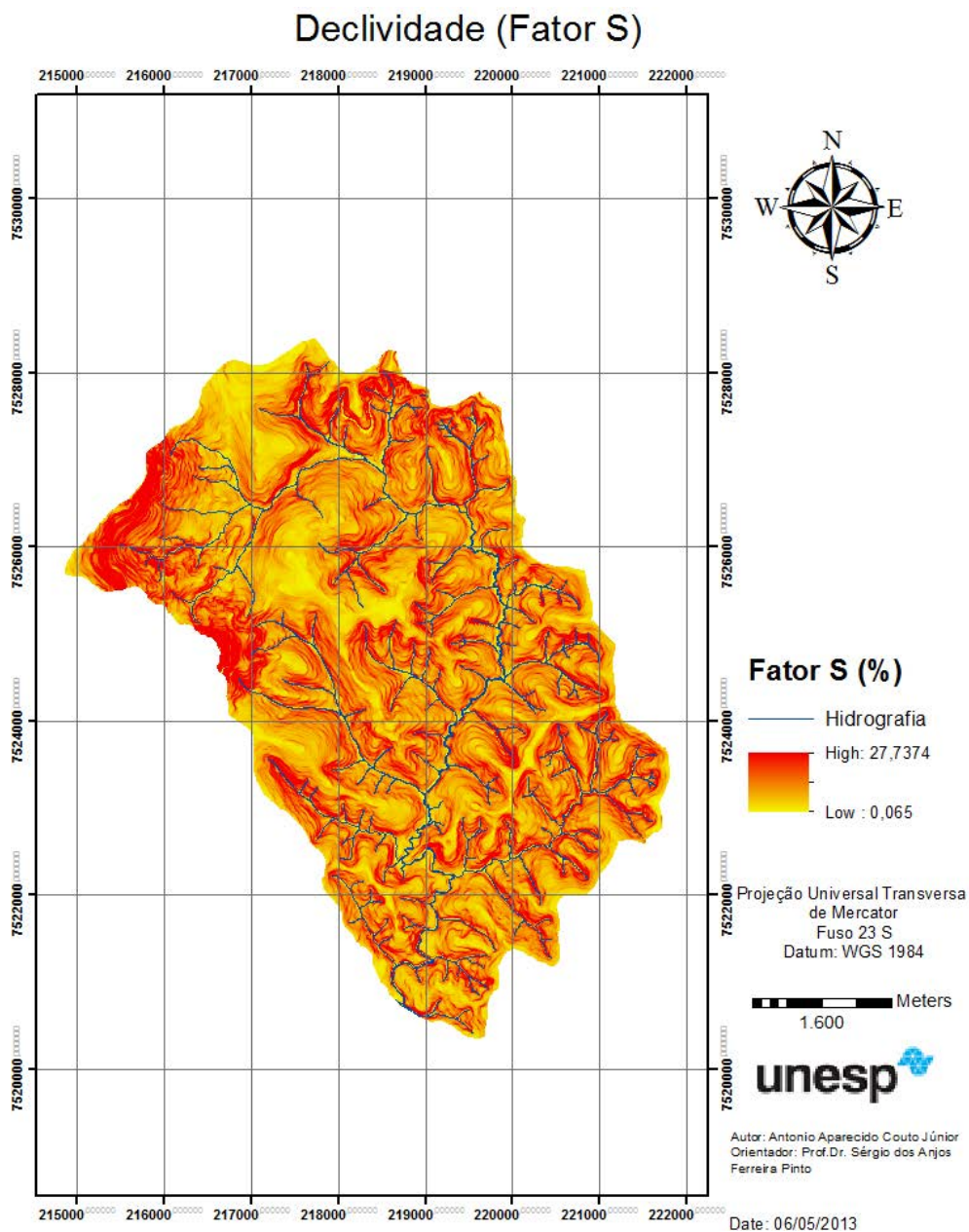


Figura 13 – Fator Declividade (Fator S) pela proposta de Desmet e Govers (1996)

Os maiores valores de S situam-se na área da rede de drenagem e, sobretudo, no setor oeste da bacia. Os menores valores de S estão nos setores central e norte, onde se tem um relevo relativamente plano. Nessas áreas os índices de perdas de solo por erosão são menores e o cultivo agrícola se torna possível.

5.4. Fator Topográfico (LS)

5.4.1. Fator Topográfico (LS) pela proposta de Desmet e Govers (1996)

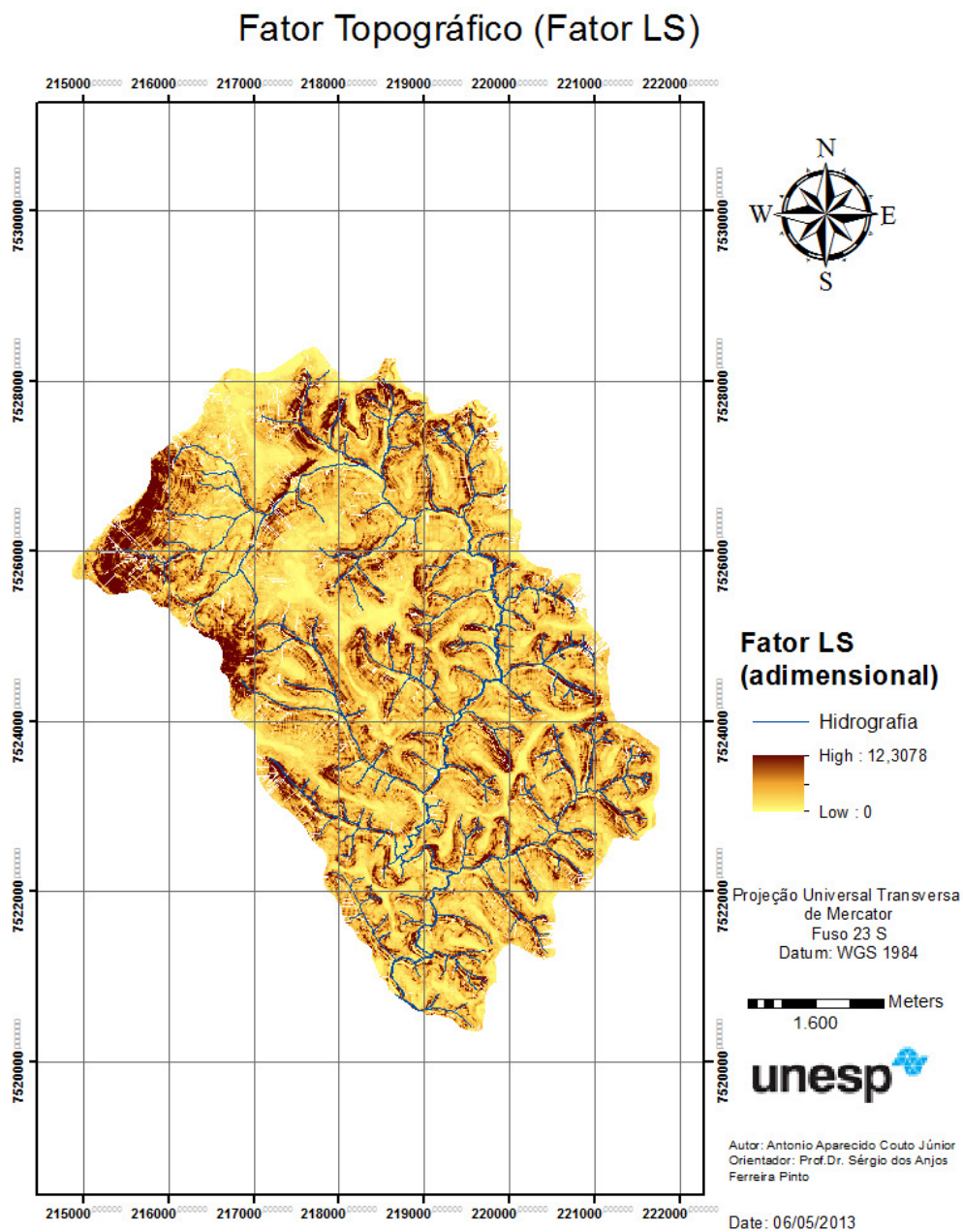


Figura 14 – Fator Topográfico (Fator LS) pela proposta de Desmet e Govers (1996)

O Fator Topográfico (Figura 14), obtido de acordo com a proposta de Desmet e Govers (1996), apresentou valores que variam entre 0 e 12,3078 (valores adimensionais). Os maiores valores de LS estão situados em áreas onde há convergência de fluxo e elevada declividade (no setor centro - oeste da bacia). Os menores valores, por sua vez, encontram-se

em áreas de interflúvios com baixa declividade e ausência de convergência de fluxo (setor sul).

5.4.2. Fator Topográfico (LS) pela proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985)

O Fator Topográfico (Figura 15), obtido segundo a proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985), apresentou valores que variam entre 0 e 407,034.

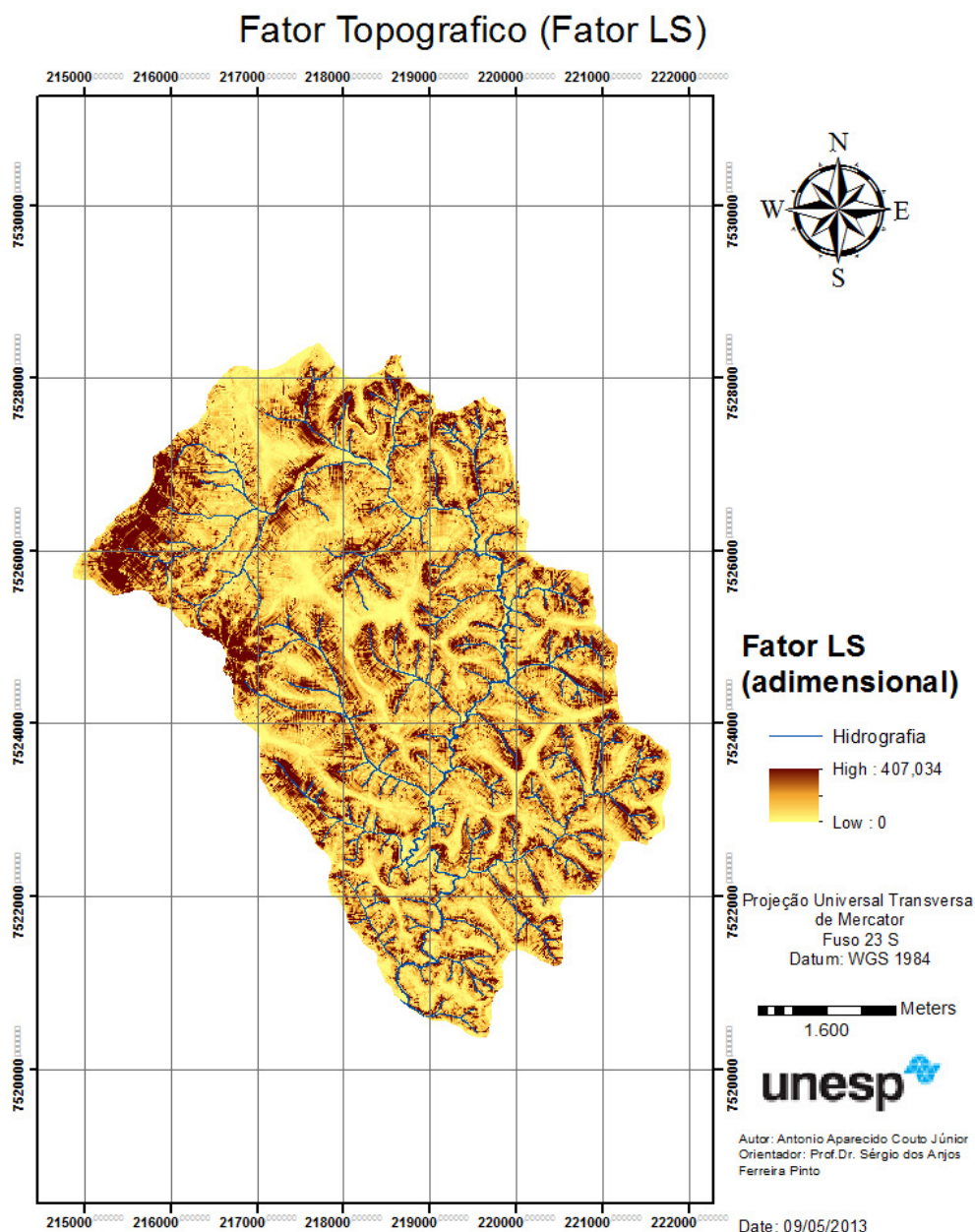


Figura 15 – Fator Topográfico (LS) pela proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985)

Da mesma forma que no método de Desmet e Govers (1996), os maiores valores de LS estão situados no setor centro-oeste da bacia, ao passo que os menores valores encontram-se na porção sul da mesma.

5.4.3. Fator Topográfico (LS) pela proposta de Moore e Burch (1986)

Comparando os resultados obtidos entre as propostas de Desmet e Govers (1996) e Moore e Burch (1986), percebe-se que ambas apresentaram resultados semelhantes, sobretudo em áreas de menor declividade. A proposta de Moore e Burch (1986) para o cálculo do Fator LS permitiu uma melhor discriminação nas áreas onde há vertentes mais curtas e declives acentuados, apresentando assim, coerência com os mapas de declividade e do MDE gerados previamente. O Fator Topográfico (Figura 16), obtido apresentou valores que variam entre 0 e 17,4717 (valores adimensionais).

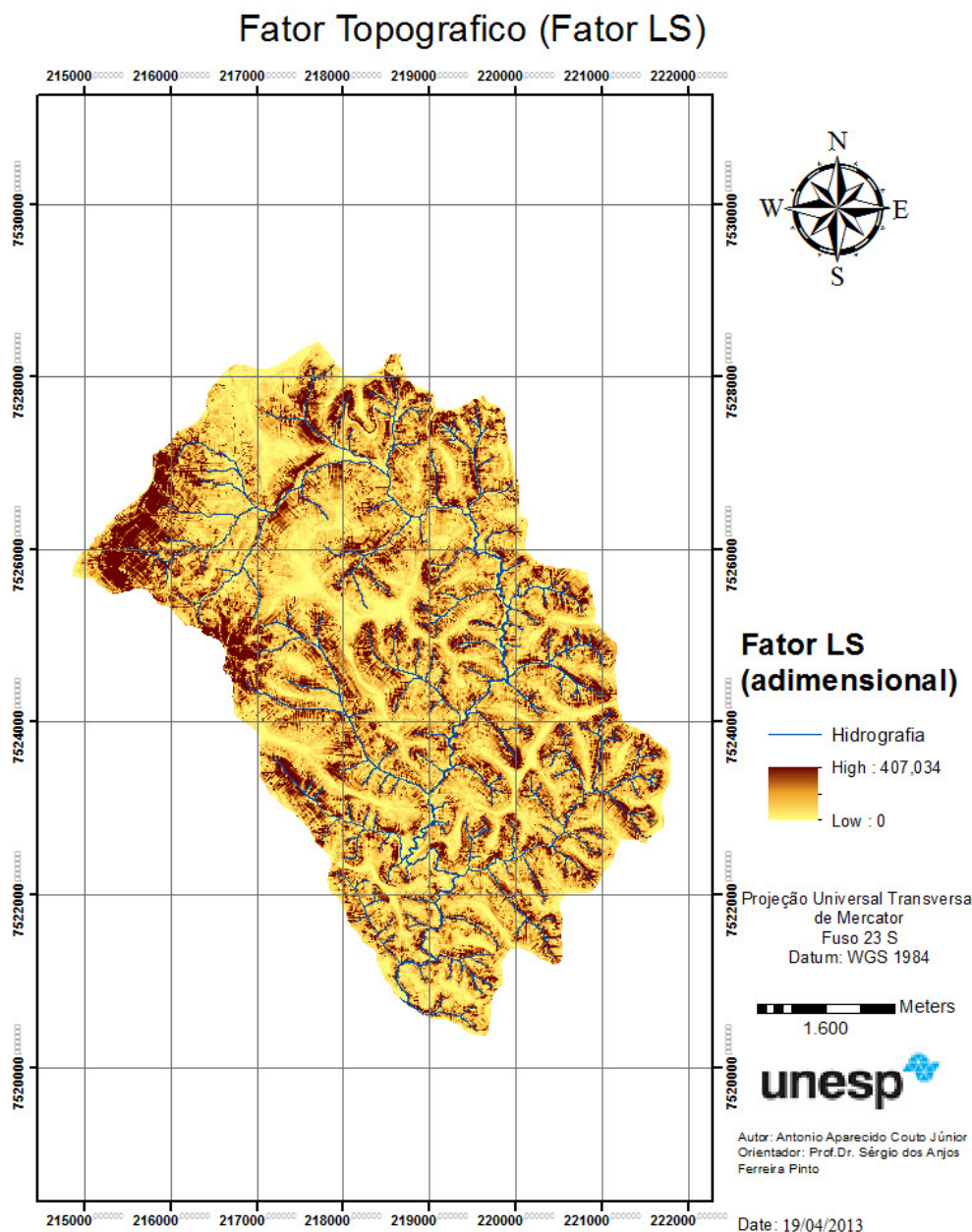


Figura 16 – Fator Topográfico (LS) pela proposta de Moore e Burch (1986)

Os maiores valores de LS estão situados em áreas onde há declives acentuados e convergência de fluxo. Os menores valores, por sua vez, encontram-se nos divisores de águas com baixa declividade e ausência de convergência de fluxo.

5.4.4. Comparação entre as propostas

O método de Desmet e Govers (1996) se mostrou mais eficiente para área de estudo por fornecer, pixel a pixel, o valor de LS ao longo das vertentes. Como pode ser observado na Figura 14, em áreas onde se tem distâncias significativas do divisor de água, onde há

convergência de fluxo (vertentes côncavas) e em áreas de alto declive, o valor de LS tende a ser elevado. Em contrapartida, esse valor é baixo em topos de morros e chapadas (interflúvios), uma vez que o comprimento da vertente e a declividade são menores. Comparando os resultados obtidos pelo método de Desmet e Govers (1996) com os de Moore e Burch (1986) e Bertoni e Lombardi Neto (1985), verifica-se que em áreas de baixas declividades ambos apresentam resultados relativamente semelhantes de LS. No caso de vertentes complexas, em áreas maior declividade, os valores de LS gerados pelo método de Desmet e Govers (1996) são significativamente melhores e mais detalhados. Isso pode ser explicado provavelmente pela assimilação da convergência e pelo respectivo acúmulo de fluxo no método de Desmet & Govers (1996), o que não ocorre, por exemplo, na proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985).

5.5. Erosividade da Chuva (Fator R)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), o Fator R constitui um valor numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma determinada área desprotegida.

Adotando o método de krigagem dos valores de erosividade média (valores tabelados de precipitação média mensal e de EI_{30}), foi obtido o mapa do Fator R (figura 17).

Tabela 5 – Postos pluviométricos e valores de erosividade

Municípios	Postos	Localização		Altitude <i>m</i>	R <i>MJ.mm/ha.h.ano</i>
		<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>		
Americana	Americana	22°42'	47°17'	540	6008,917079
Americana	(CPEF)	22°44'	47°20'	530	5643,631436
Araras	Faz. Belmonte	22°18'	47°27'	720	6707,824021
Araras	Faz. Santana	22°15'	47°23'	660	6217,948522
Araras	Faz. Santa Cruz	22°16'	47°19'	600	6792,083373
Brotas	Campo Alegre	22 14'	47 59'	780	4655,983316
Brotas	Campo Redondo	22 22'	47 59'	660	5001,64533
Brotas	Brotas (CPFL)	22 17'	48 08'	620	6299,962607
Brotas	Faz. São Sebastião	22 20'	48 06'	680	6747,790123
Brotas	Usina Jacare	22 25'	48 01'	810	8103,219596
Brotas	Brotas	22 17'	48 07'	680	6972,209235
Charqueada	Charqueada	22 31'	47 47'	600	7969,000781
Charqueada	Recreio	22 35'	47 41'	510	4884,811896
Cordeiropolis	(Emsa)	22°28'	47°24'	730	6704,373929
Corumbataí	Corumbataí	22 13'	47 37'	600	6384,982235
Descalvado	Faz. Monte Alegre	21°57'	47°42'	840	8485,45
Descalvado	Faz. Santa Rita	21°58'	47°42'	780	8965,36
Descalvado	Descalvado	21°56'	47°37'	650	6817,88
Ipeúna	Ipeúna	22 26'	47 43'	630	8455,662361
Itirapina	Itirapina	22 14'	47 48'	790	5987,463664
Itirapina	Faz. Paraíso	22 16'	47 45'	800	7820,34915
Itirapina	Usina do Lobo	22 10'	47 54'	690	6954,475154
Itirapina	Graúna	22 18'	47 45'	610	6826,492982
Itirapina	Visc. de Rio Claro	22 09'	47 48'	740	5761,442417
Leme	Criciúma (Leme)	22°10'	47°17'	600	6669,83
Limeira	Limeira	22°34'	47°22'	640	6155,348773
Piracicaba	Santa Terezinha	22°41'	47°42'	500	5728,223043
Piracicaba	Tanquinho	22°34'	47°36'	590	6340,160675
Piracicaba	Artemis	22°41'	47°46'	470	6584,974841
Piracicaba	Piracicaba (Efs)	22°42'	47°39'	530	5041,161141
Pirassununga	Piraçununga	22°01'	47°26'	630	5446,38
Pirassununga	Piraçunuga	22°02'	47°25'	670	7560,87
Pirassununga	estação experimental	21°56'	47°23'	560	6728,01
Pirassununga	Báguçu	21°53'	47°19'	600	8184,84
Pirassununga	Gov. Fernando Costa	21°58'	47°28'	640	7540,72
Porto Ferreira	Porto Ferreira	21°51'	47°30'	580	8484,47
Rio Claro	Rio Claro	22 25'	47 33'	600	6748,507792
Rio Claro	Faz. São José	22 20'	47 29'	600	6682,505699
Rio Claro	Ajapi	22 17'	47 33'	670	5652,052087
Sta Gertrudes	Santa Gertrudes	22°29'	47°31'	620	6485,487772
São Carlos	Santa Eudoxia	21°47'	47°47'	620	8000,114577
São Carlos	Us. Capão Preto	21°52'	47°48'	610	6962,523907
São Carlos	Vila Carmem	22°01'	47°54'	820	6478,948044
São Pedro	São Pedro	22 32'	47 55'	600	7618,41757
Sta C. da Conceição	Sítio São Geraldo	22°07'	47°25'	620	6975,65

Fonte: Corrêa (2011)

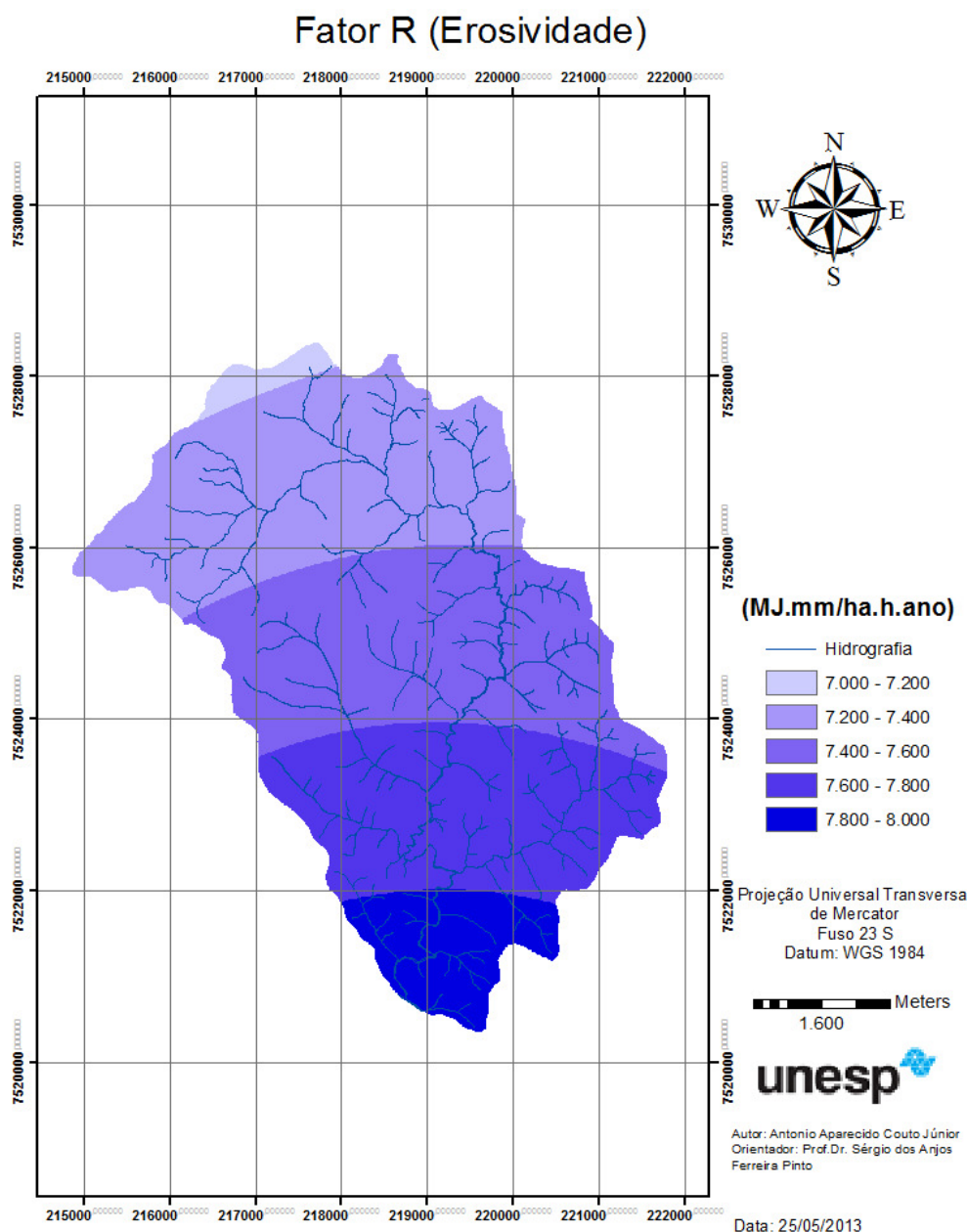


Figura 17 – Erosividade de chuva (Fator R) para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

O mapa (Figura 17) apresenta cinco classes: 7000-7200, 7200-7400, 7400-7600, 7600-7800, 7800-8000. Os valores elevados (7800-8000) correspondem ao setor sul da bacia, sendo que tais valores vão diminuindo (7400-7600) na medida em que se avança para a área central, atingindo seus menores índices (7200-7400 e 7000-7200, respectivamente) no setor norte da área de estudo.

5.6. Erodibilidade do Solo (Fator K)

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo que os outros fatores do processo permaneçam constantes. Essa diferença reside nas propriedades inerentes a cada tipo de solo, sendo estas referidas como erodibilidade do solo. A erodibilidade do solo é expressa na EUPS pelo Fator K.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), as principais propriedades de cada tipo de solo são: velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade total de armazenamento da água, resistência à força de dispersão, salpico, abrasão, transporte pela chuva e escoamento.

Com base no esboço fotopedológico (figura 18) é possível observar a ocorrência de cinco tipos de solo: Latossolo, Neossolo Quartzarênico, Argissolo, Cambissolo e Neossolo Litólico.

Analisando o esboço, é possível observar a ocorrência predominante de Cambissolo e Argissolo Vermelho Amarelo. Em menor proporção aparece o Latossolo Vermelho Amarelo, restrito a áreas de menor declividade. O Neossolo Litólico ocorre em áreas de maior declividade (acima de 40%) e nas áreas da Formação Itaqueri e Serra Geral. Por fim também pode ser identificada a ocorrência de Areias Quartzosas (Neossolo Quartzarênico), situadas em áreas de menor declividade (<20%), onde ocorre a formação Pirambóia.

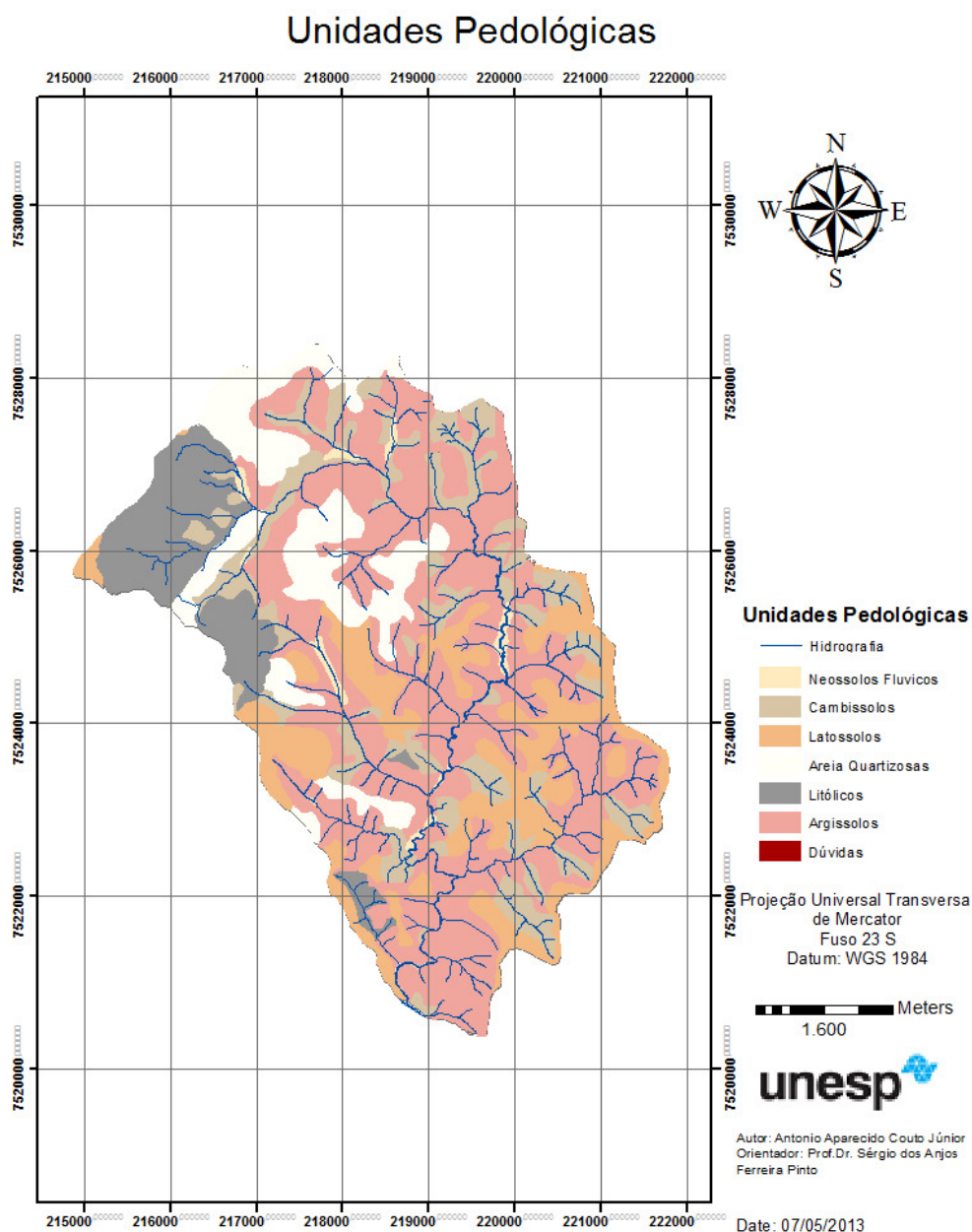


Figura 18 – Unidades Pedológicas para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

A partir de identificação dos tipos de solo e da tabela do Fator K para os solos do estado de São Paulo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), foram obtidos os valores de K para todos os solos identificados na bacia.

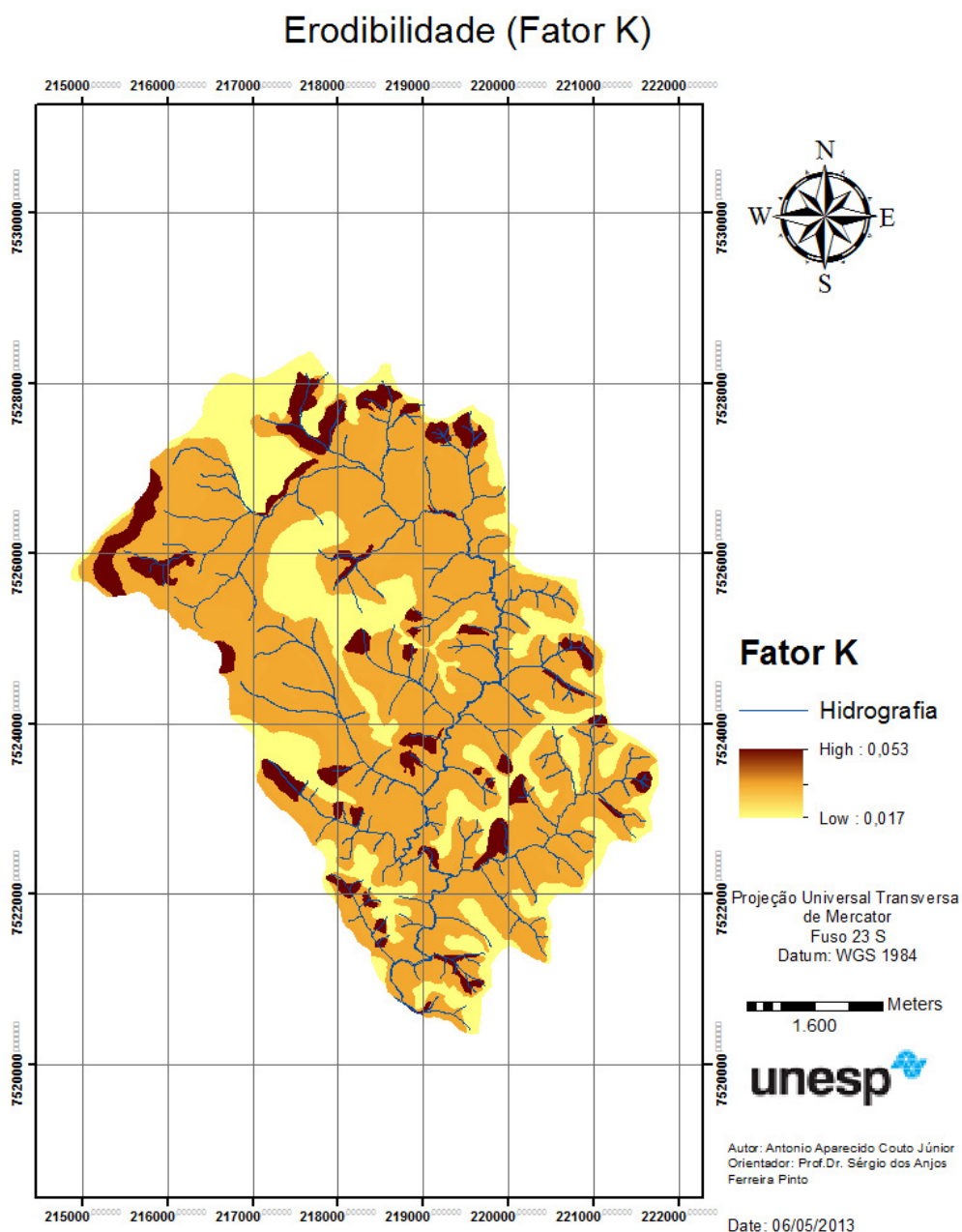


Figura 19 – Erodibilidade do Solo (Fator K) para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

O Fator K assume os valores de 0,017 para Latossolo, 0,017 para Neossolo Quartzarênico, 0,034 para Argissolo, 0,033 para Cambissolo e 0,053 para Neossolo Litólico. Os valores assumidos por K podem ser exemplificados através da tabela (Tabela 6).

Tabela 6 – Tipos de solos e valores do fator K

Tipos de Solos	Valor de K	Área (%)
Argissolo Vermelho Amarelo	0,034	43,49
Cambissolo	0,033	24,07
Latossolo Vermelho Amarelo	0,017	12,35
Neossolo Litólico	0,053	8,50
Areias Quartzosas	0,017	11,58

5.7. Potencial Natural de Erosão (PNE)

A integração dos fatores naturais correspondentes ao meio físico, representados pela erosividade (Fator R), erodibilidade (Fator K) e fator topográfico (LS), resultou no mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE).

O mapa obtido (Figura 20) revela um conjunto de valores que variam entre 0 e 4884,2, expressos em t. ha-1 ano-1.

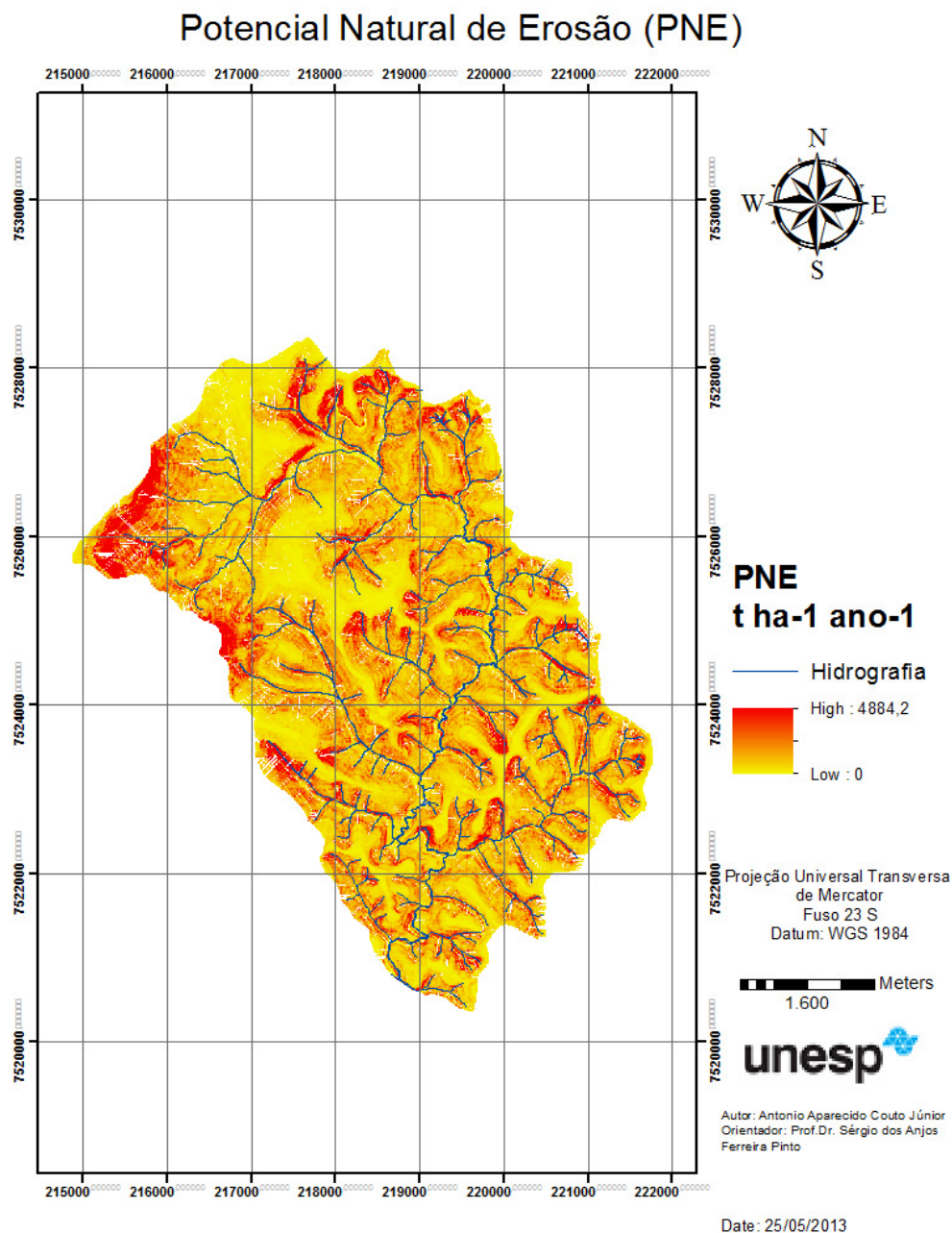


Figura 20 – Potencial Natural de Erosão (PNE) para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

Esse mapa foi reclassificado levando em consideração parâmetros qualitativos, resultando em um mapa com seis classes, que foram definidas com base em Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Scopel et al (2011) e estão exemplificados na Tabela 7.

Tabela 7.

Classes de Potencial Natural de Erosão para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande		
	PNE (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Área Total (%)
Médio baixo	0 – 50	24,50
Baixo	50 – 100	27,16
Médio	100 – 200	21,14
Alto	200 – 600	13,66
Muito Alto	600 – 1000	1,25
Extremamente Alto	> 1000	0,19

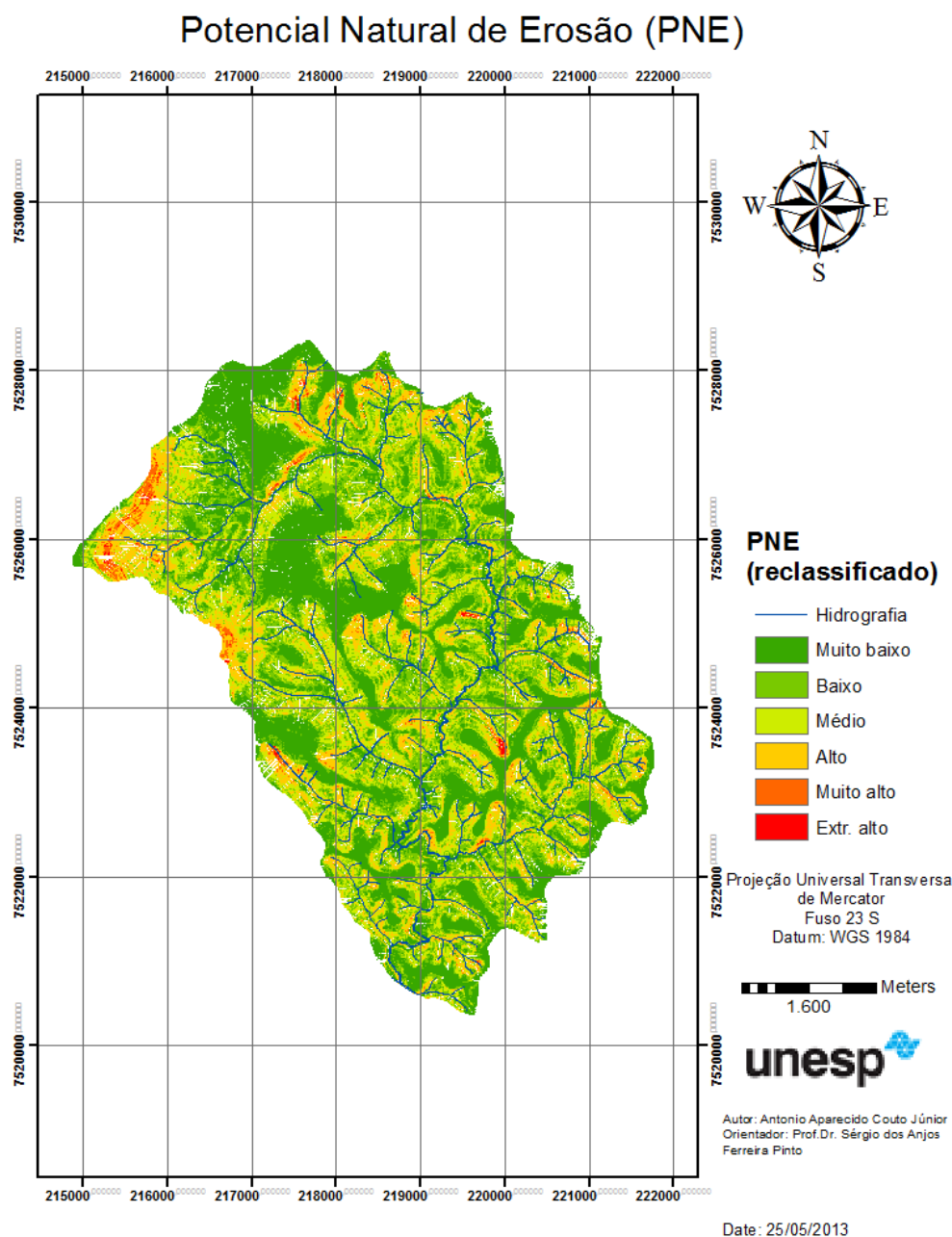


Figura 21 – Classes do PNE para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

Com base na tabela (Tabela 7) e no mapa (Figura 21), observa-se o predomínio do PNE muito baixo (24,5%), baixo (27,16%) e médio (21,14%) em toda a área de estudo. Tais classes, juntas, correspondem a 72,8% da extensão da área da bacia. Em menor ocorrência, aparecem as classes alto ($200 - 600 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), muito alto ($600 - 1000 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e extremamente alto ($>1000 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), que correspondem, respectivamente, a 13,66%, 1,25% e 0,19% do total da área de estudo.

Apesar de possuir algumas limitações, a espacialização do Potencial Natural de Erosão pode subsidiar tomadas de decisão relativas ao uso do solo, permitindo a identificação de áreas que podem ser monitoradas com a finalidade de se amenizar os processos erosivos. Nesse sentido, as estimativas do PNE podem ainda restringir o uso e ocupação de áreas suscetíveis à erosão, bem como orientar o manejo adequado das mesmas.

5.8. Uso da terra e cobertura vegetal natural (Fator C)

O fator de uso e manejo dos solos (Fator C) da EUPS é a relação esperada entre as perdas do solo de uma área cultivada, segundo um manejo qualquer, e as perdas correspondentes de um solo na mesma área, mantendo o solo descoberto e cultivado (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Composição RGB da imagem orbital Ikonos (PAN/MS)

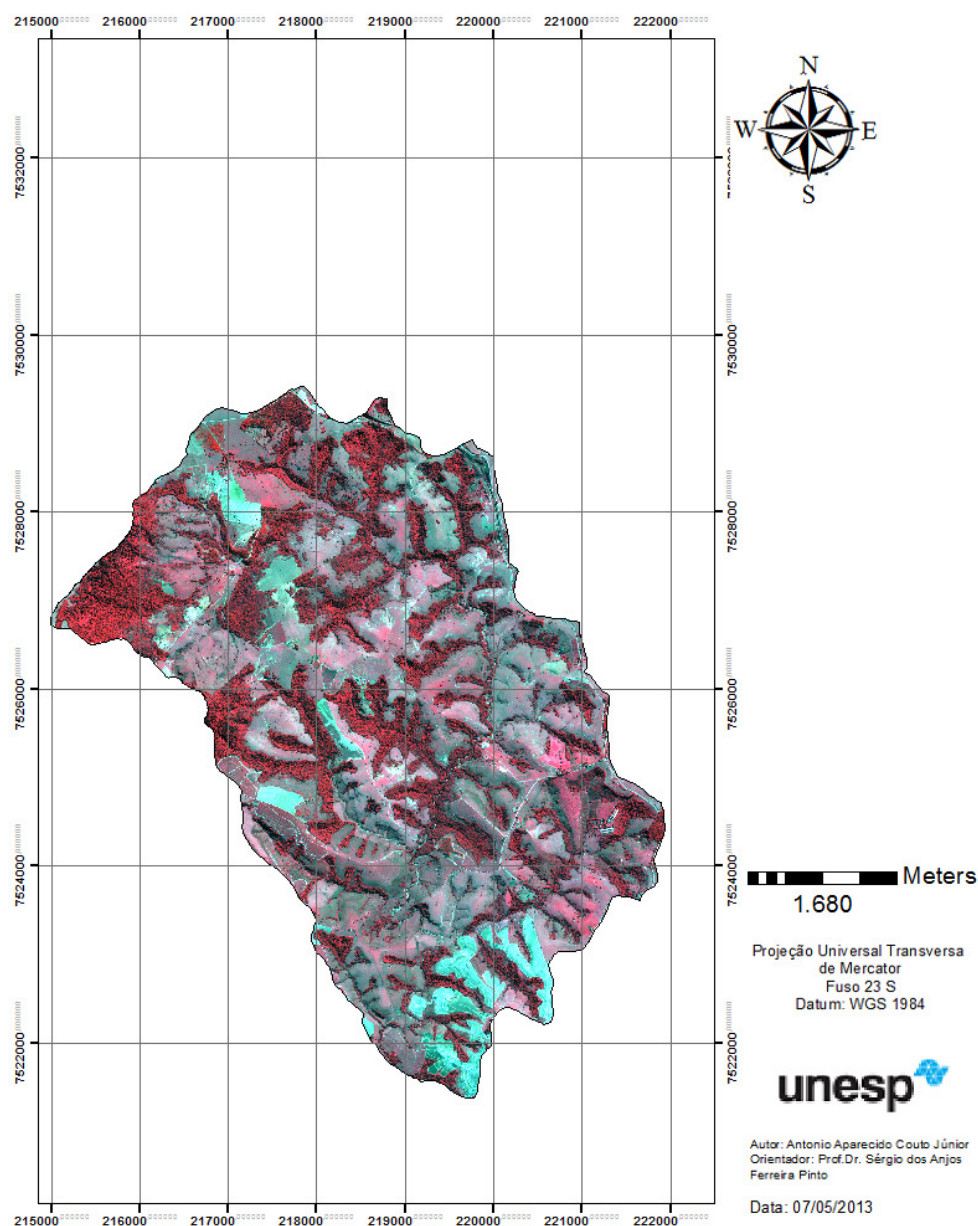


Figura 22 – Composição RGB para a imagem orbital Ikonos (PAN/MS)

Na imagem analisada (Figura 22) foram observadas áreas agrícolas em fase de preparo de solo, ou seja, no instante do imageamento, apresentavam-se como áreas de solo exposto, antecedendo a etapa de plantio. No entanto, como a modelagem de perda de solos utilizada não prevê a evolução fenológica da cobertura da terra, e trabalha com estimativas que tendem a valores médios, optou-se em indicar estas áreas com a classe destinada à cultura. Por características regionais, e momento econômico, tais áreas têm sido destinadas ao cultivo de

cana-de-açúcar. Desta maneira as classes de uso da terra (Figura 23) se apresentam da seguinte maneira:

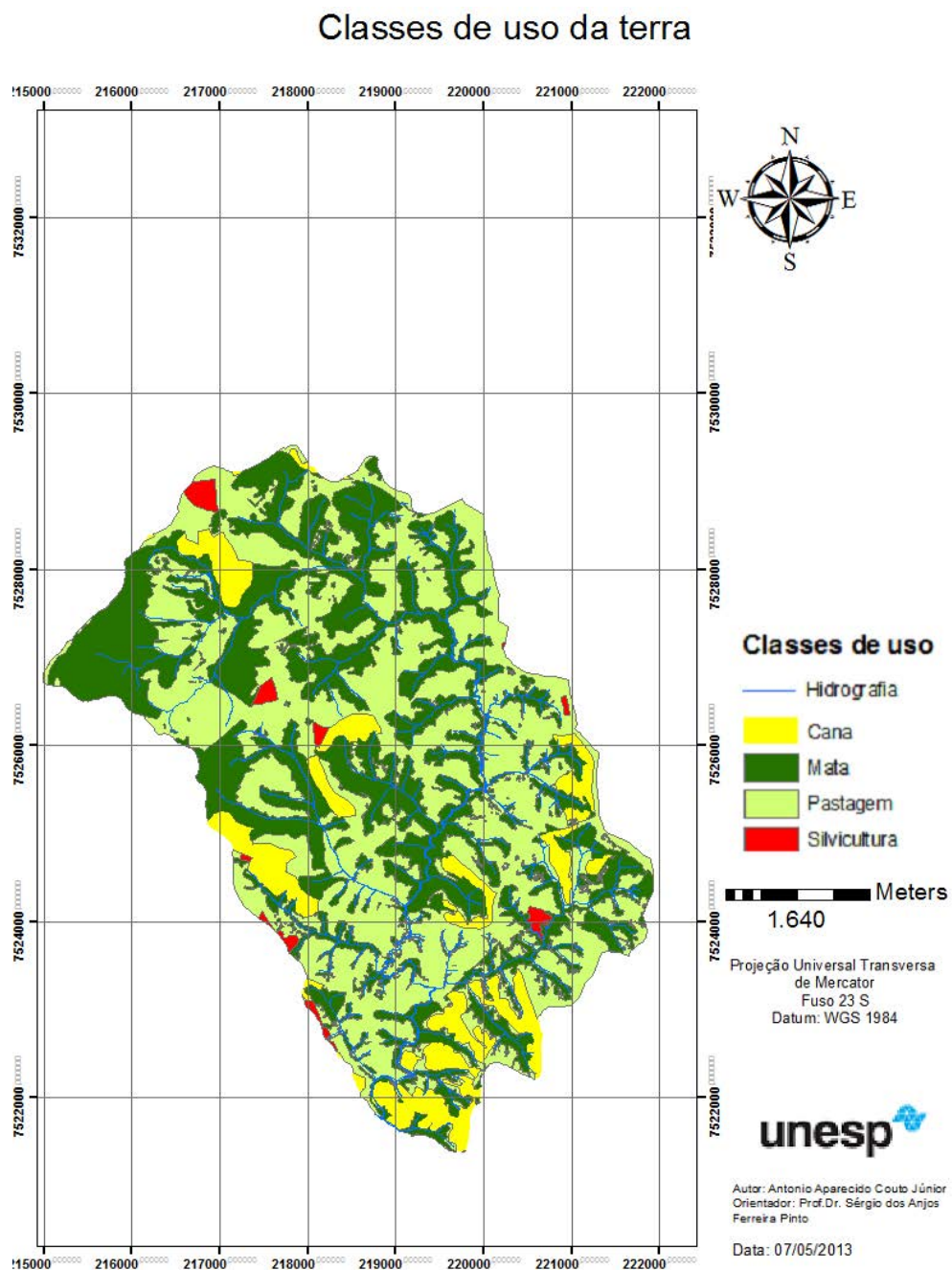


Figura 23 – Classes de uso da terra para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

Os valores do Fator C da MEUPS foram atribuídos conforme o indicado em Donzeli et al. (1992), Pinto (1996) e Formaggio et al. (1996) (Tabela 8), resultando no mapa do Fator C (Figura 24).

Fator de uso da terra e cobertura vegetal natural (Fator C)

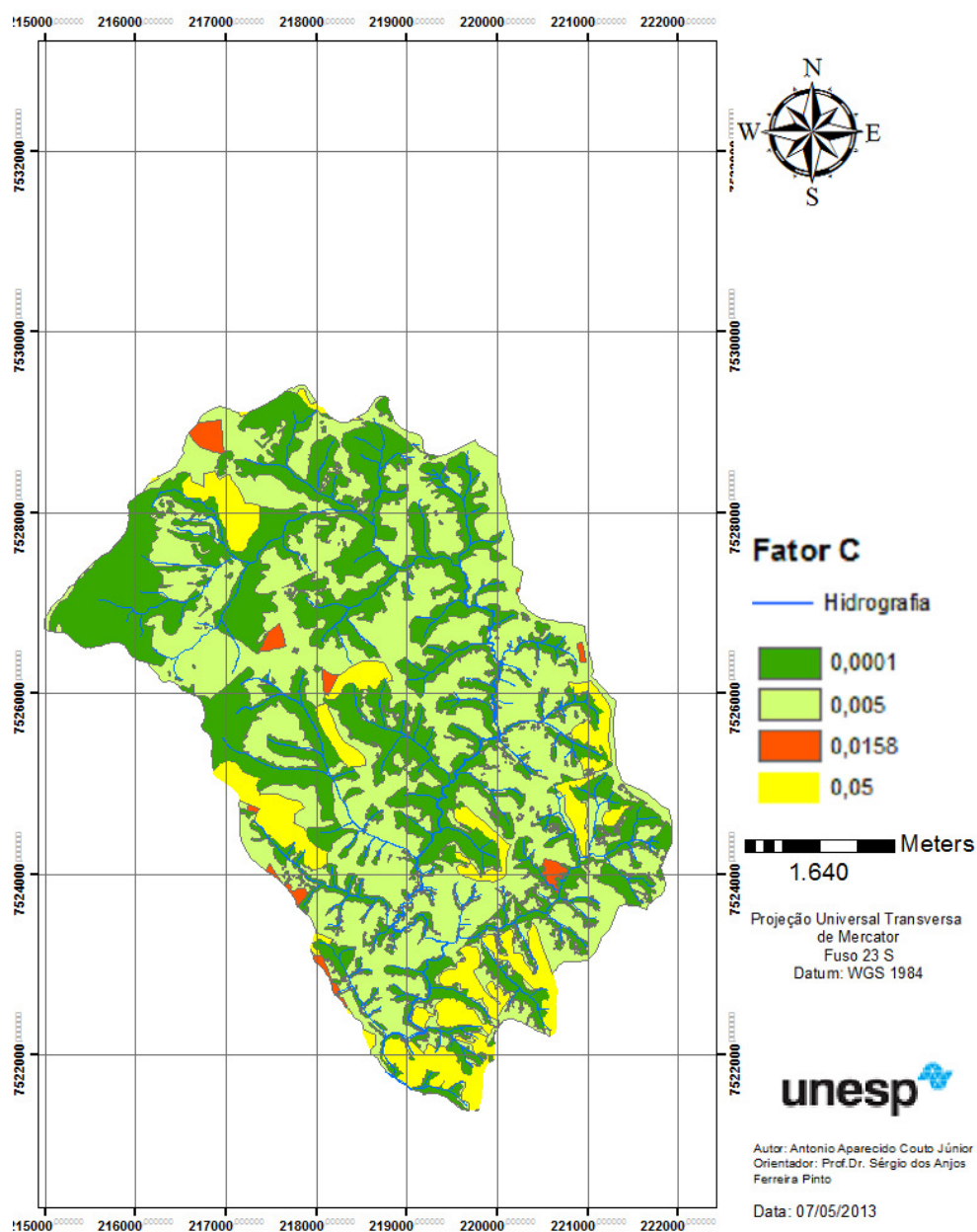


Figura 24 – Uso e cobertura vegetal natural (Fator C) para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

De acordo com o mapa do Fator C (Figura 24), observa-se que a bacia é composta, em sua maior parte, por áreas de pastagens e pastagens degradadas (Fator C = 0,005), fato que sinaliza a pecuária como principal atividade econômica da região.

A cobertura de mata natural (Fator C = 0,0001) possui área melhor preservada no setor norte da bacia e em áreas de cabeceira do ribeirão Monjolo Grande. No setor sul, no entanto, a mata natural se apresenta menos densa.

As áreas de Silvicultura (Fator $C = 0,0158$) correspondem a pequenos talhões espalhados ao longo da bacia, ocorrendo maior concentração no setor central e norte da mesma. Este tipo de uso não representa, portanto, uma atividade econômica significativa na área de estudo.

As áreas correspondentes ao cultivo da cana-de-açúcar (Fator $C = 0,05$) correspondem a diversos talhões espalhados ao longo da área de estudo, ocorrendo maior concentração no setor sul da bacia.

5.9. Fator Práticas Conservacionistas (Fator P)

Para áreas com declividade de até 12%, foi adotado o valor de P igual a 0,6 e para áreas nas quais a declividade é superior a 12% foi atribuído o valor de 0,8. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Pratica Conservacionista (Fator P)

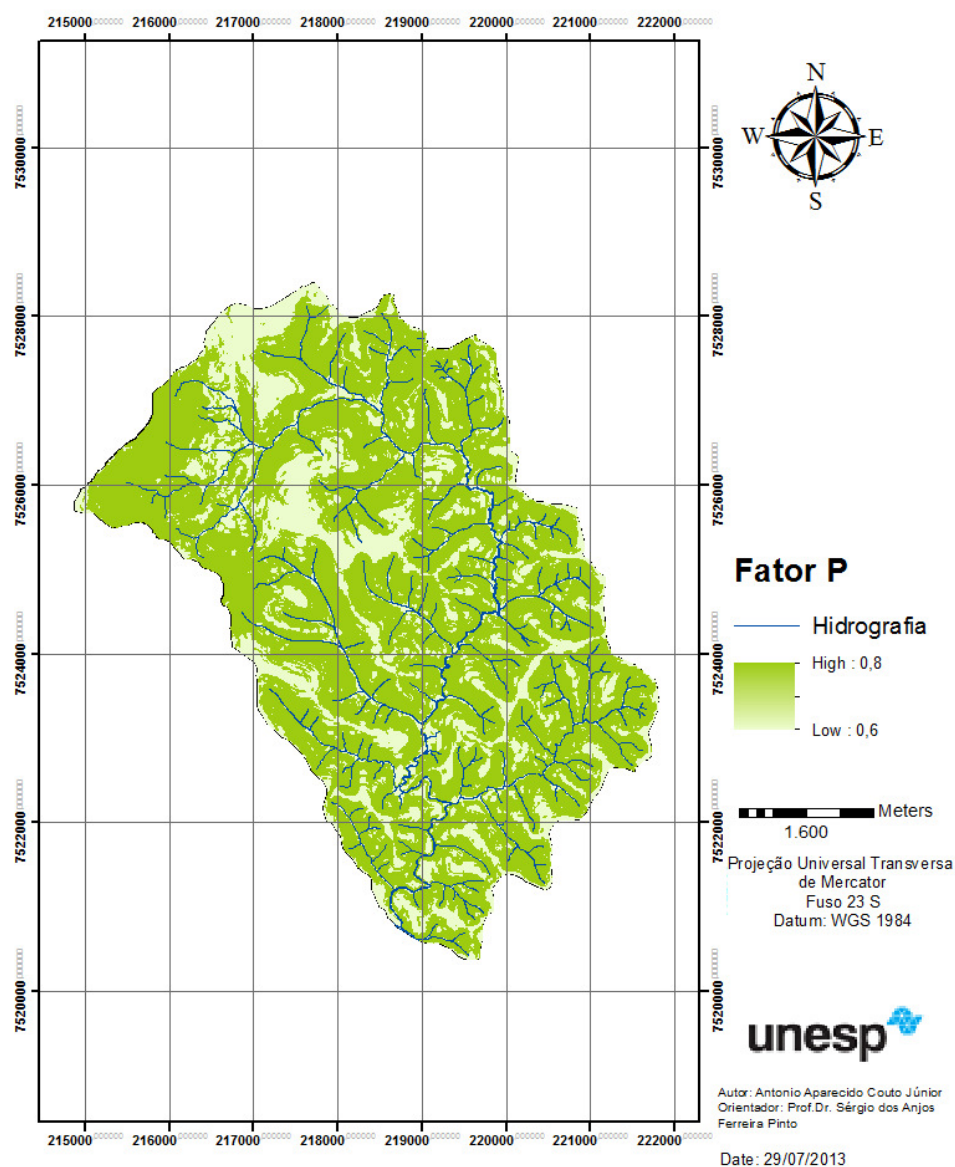


Figura 25 – Prática Conservacionista (Fator P) para a bacia do ribeirão Monjolo Grande

6. Considerações Finais

A ocupação de áreas, sem o conhecimento prévio de suas características e restrições de uso, pode resultar em prejuízos socioeconômicos e ambientais. Nesse sentido, a compreensão das relações existentes entre os elementos naturais é fundamental para que possa ser promovido o ordenamento de uso, ocupação e gestão sustentável dos sistemas ambientais. Nesse sentido, as geotecnologias adquirem grande importância, sobretudo pelo fato de dar

suporte a trabalhos diagnósticos das condições ambientais de uma área, visando subsidiar políticas de planejamento e gestão de recursos naturais terrestres.

A EUPS, como um modelo preditivo à erosão, é importante por possibilitar a prevenção de impactos ambientais que possam interferir drasticamente em ambientes naturais ou antrópicos, bem como evitar possíveis desperdícios financeiros e até mesmo contribuir para maior eficiência da produção agrícola.

Nesse contexto, as geotecnologias adquirem grande importância, sobretudo no que diz respeito a dar suporte à trabalhos diagnósticos das condições ambientais de uma área, visando subsidiar políticas de planejamento e gestão de recursos naturais terrestres. O presente estudo permite que, com a divulgação dos resultados, sejam realizados trabalhos que orientem os produtores agrícolas da região a adotarem técnicas que resultem na ocupação ambientalmente sustentável da terra, na tentativa de minimizar seus impactos ambientais, evitar desperdícios de recursos econômicos e promover uma conscientização social.

7. Referências

- ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica**. 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.
- ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications. 1995.
- BERTONI, J. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, n.18, Campinas (SP), p.113-140, 1959.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F; BENATTI Jr. Equação de Perdas de Solo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**. n.21, Campinas (SP), 24p, 1975.
- BERTONI, J; PASTANA, F.I; LOMBARDI NETO, F; BENATTI JUNIOR, F. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no instituto agrônomo. **Instituto Agrônomo de Campinas (SP)**, n.20, Campinas (SP), 57p, 1996.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 1ª edição. São Paulo: Ícone, 1985. p. 37-267.
- BERTOLINI, D; DRUGOWICH, M.I; LOMBARDI NETO, F; BELLINAZZI JUNIOR, R. Controle de Erosão em Estradas Rurais. **Bol. Téc. CATI**, n.206. Campinas (SP), 37p, 1993.
- BUENO, C.R.P; ARRAES, C.L; MIQUELONI, D.P. Aplicação do Sistema de Informação Geográfica para Determinação do Fator Topográfico. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.2, p.30 – 47. 2011. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/viewFile/1368/1403>>. Acesso em: 21/04/2012
- CÂMARA, G. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas: visão atual e perspectivas de evolução**. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 1993.
- CÂMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A.M; D'ALGE, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2ª edição. São José dos Campos, INPE, 2001.
- CARVALHO, E.M; PINTO, S.A.F; SEPE, P.M; ROSSETTI, L.A.F.G. Utilização do Geoprocessamento para Avaliação de Riscos de Erosão do Solo em uma Bacia Hidrográfica: Estudo de caso da Bacia do Rio Passa Cinco/SP. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.p.001 – 008.
- Disponível em:
<http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/A_101.pdf> Acesso em 15/02/2012.

CORRÊA, E.A. **Caracterização da Cobertura Vegetal na Equação Universal de Perda de Solos (Fator C) por Meio de Geotecnologias**. 2011. 167f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 2011.

CORRÊA, E.A. Avaliação do Potencial Natural de Erosão da Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolo Grande (IPEÚNA-SP). **Revista Geonorte, Edição Especial, V.2, N.4, p.1356 - 1367, 2012.**

Disponível em: <<http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/009>>. Acesso em 16/02/2012.

COSTA, A. L. C. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com aplicação da Equacao Universal de perdas de solo na alta Bacia Hidrográfica do rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. 2005. 168f. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 2005.

D'AGOSTINI, L.R; UBERTI, A.A.A; GUERRA, M; SCHLINDWEIN, S.L. **Aptidão e Adequacidade do Uso do Solo: Sistema de Classificação para o Estado de Santa Catarina**. Florianopolis: Imprensa Universitária. 35p.

DEMATTE, A.J. **Ciência do Solo IV**. Piracicaba: ESALQ, Outubro, 2003.

DESMET, P.J.J; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. vol.51, n.5, p.421-433, 1996.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT –. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981.

LOMBARDI NETO, F; BELLINAZZI JUNIOR, R; LEPSH, I.F; OLIVEIRA, J.B; BERTOLINI, D; GALETI, P.A; DRUGOWICH, M.I. Terraceamento Agrícola. **Bol. Téc. CATI**, n.206, Campinas (SP), 39p, 1994.

KINNEL, P.I.A. Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. **Soil and Tillage Research**, v.58, p.11-17, 2001.

MEDEIROS, J.S; CAMARA, G. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. **INPE**, São José dos Campos, 36p, 2001.

MELLO, G; BUENO, C.R.P; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campinas v.10, n.2, p.315–322, 2006.

MOORE, I.D.; BURCH, G.J. Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the America, Science Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1624-1640, Dec, 1986a.

MOORE, I.D., BURCH, G.J. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1294- 1298, Sept./Oct. 1986b.

MOORE, I.D; WILSON, J.P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**, 47, 423-428, 1992.

OLIVEIRA, J.B; BERG, M. Aptidão Agrícola das Terras do Estado de São Paulo: Quadricula de Araras. Memorial Descritivo. **Instituto Agrônomo Campinas (SP)**, n.102. Campinas (SP), 59 p. 1985.

ORTEGA, C.E.O. Evaluación del modelo U.S.L.E. para predecir pérdidas de suelo en áreas forestadas de la cuenca del río Bío-Bío. **Bosque**. v.14, p. 45 - 54, 1993.

PEREIRA, L.H. **Caracterização da erosão hídrica laminar do solo em bacia hidrográfica com base na malha fundiária, por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem**. 2010. 217f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 2010.

PINTO, S.A.F. Projeto de Pesquisa: **Avaliação da erosão hídrica, transporte de sedimentos e qualidade da água na bacia do Córrego Monjolo Grande (SP)**. Rio Claro, Fevereiro, 2010.

PINHEIRO, L.S; CUNHA, C.M.L da. **Utilização do Fator Topográfico (LS) da EUPS para a Predição de Processos Erosivos**. 1º SIMPGEO/SP, p. 1182-1192, Rio Claro, 2008.

Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/simpgeo/1182-1192leandro.pdf>>. Acesso em: 17/02/2012

PINHEIRO, L.S; CUNHA. A Importação da Geração do Fator Topográfico (LS) da EUPS para Modelagem Erosiva de Bacia Hidrográfica. **Revista Geográfica de América Central** Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica II Semestre 2011 pp. 1-13. Disponível em:

<<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2585>> Acesso em: 22/02/2012.

PRADO, H.; OLIVEIRA, J.B & ALMEIDA, C.L.A. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. Escala 1:100.000.Campinas: Instituto Agrônomo, 1984.

RICCOMINI, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e o tectonismo deformador da formação Itaqueri na porção centro-leste do estado de São Paulo. **Revista IG**. São Paulo, v.18, p. 41-48, 1997.

RODRIGUES, M. **Anais da quarta conferência latino-americana sobre sistemas de informação geográfica/segundo simpósio brasileiro de geoprocessamento**. São Paulo: Edusp, 1993.

RUHOFF, A.L; PENNA e SOUZA, B.S; GIOTTO, E; PEREIRA, S.R. Avaliação dos Processos Erosivos através da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), implementada com algoritmo em legal. **Geomática**. v. 1, n.1, p. 12-22, 2006.

SPAROVEK, G; WEILL, M.A.M. Estudo da Erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) – I – Estimativa das Taxas de Perdas de Solo e Estudo de Sensibilidade dos Fatores do Modelo EUPS. R. **Bras. Ci. Solo**, p. 801-814, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/34.pdf>> Acesso em: 03/04/2012

STEIN, D.P et al. Potencial Natural de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema. In: **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. 4, 1987, Marília. Anais. São Paulo: S.C.P. 1987.

TOMAZONI, J.C; GUIMARÃES, E. A Sistematização dos Fatores da EUPS em SIG para Quantificação da Erosão Laminar na Bacia do Rio Jirau. RBC - **Revista Brasileira de Cartografia** Nº 57/03, 2005.

SOARES, P. C. e FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, n.16, p.71-104,1976

VALERIANO, M.M. **Estimativa de Variáveis Topográficas por Geoprocessamento para Modelagem de Perda de Solos**. 173 f. Tese (Doutorado em Geociências – Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 1999.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas no estudo integrado de Bacias Hidrográficas, in FERREIRA, M.E.E; CRUZ, M.C.P. Solos Altamente Suscetíveis a Erosão. FCAVUNESP/ Jaboticabal – **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 223-242.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, no.357. 58p. 1978.

.