

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus Rio Claro

LUIZ HENRIQUE PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA LAMINAR DO SOLO EM BACIA
HIDROGRÁFICA COM BASE NA MALHA FUNDIÁRIA, POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO, GEOPROCESSAMENTO E MODELAGEM.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro (SP)

2010

551.302 Pereira, Luiz Henrique
P436c Caracterização da erosão hídrica laminar do solo em
 bacia hidrográfica com base na malha fundiária, por meio
 de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem
 / Luiz Henrique Pereira. - Rio Claro : [s.n.], 2010
 123 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

 1. Erosão. 2. Modelagem de sistemas ambientais físico. 3.
 Planejamento territorial agrícola. 4. MEUPS. I. Título.

Dedico à minha companheira Camila, pois nenhum esforço faria sentido se você não estivesse ao meu lado. Sinto-me honrado em poder expressar aqui, o que neste momento tenho de melhor, um pouco do que eu sinto!

Agradecimentos,

Jamais poderia por em palavras meu débito de gratidão com as pessoas que influenciaram meu modo de pensar, minha conduta, e sempre me ofereceram preciosas ajudas. Mesmo aqueles que não contribuíram diretamente com idéias científicas, mas me mostraram o valor de ser correto, agradeço assim aos meus grandes amigos Vinicius Piton, Alexandre Palácios, e Luiz Flório.

Agradeço ao pessoal do CEAPLA que me acolheu nestes 7 anos, que sempre demonstraram confiança, e me deram respaldo a todas as atividades que precisei desenvolver; em especial, à Dê, pelo imenso carinho, e café, que me manteve tão disposto!

Aos Professores e amigos Fabiano Tomazini, Rodrigo Moruzzi, Cenira Lupinacci e Gilberto José Garcia pelo apoio, incentivo e, principalmente, pelas idéias.

Ao mais que orientador, meu grande amigo Sergio, sempre atencioso e disposto para me escutar, e explicar com a maior paciência do mundo as mais simples dúvidas. Agradeço por ter me ensinado a estudar, a escrever, a trabalhar, e a pensar além do óbvio.

Ao Eng. Agrônomo Luiz Scotton, responsável pela CATI de Ipeúna-SP, que sem dúvida alguma, se não fosse sua disposição e boa vontade em nós ajudar, este trabalho não teria sido concluído.

Agradeço ao meu amigo de curso e república Eder Spatti, pelos inúmeros momentos de risadas, cervejas, futebol e conselhos, e por cuidar do Feijoada melhor do que eu mesmo!

Ao Edvaldo, meu grande parceiro em todos os trabalhos, por ser sempre solícito às minhas necessidades, e tantas vezes abrir mão de suas obrigações para me ajudar nas atividades de campo!

Agradeço ao amor e apoio de minha família, que muitas vezes compreenderam a necessidade da distância física, mas que se não fosse uma vida educada em bases sólidas e bons princípios, não a teria condições de chegar até aqui!

Por fim, à FAPESP, por ter acreditado e concedido bolsa de estudo para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Dentre as diversas formas de erosão, a erosão laminar é um dos principais processos de degradação do solo, acarretando sérios danos ao setor produtivo. Este processo pode ser intensificado devido ao uso inadequado que o homem faz da terra, em especial, nas áreas agrícolas. Para minimizar a degradação ambiental, bem como promover o desenvolvimento sócio-econômico, é necessário a elaboração de um planejamento territorial que vise a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social. Tendo a bacia hidrográfica como unidade natural para o planejamento, deve-se considerar que nela estão contidas propriedades rurais, que representam grande barreira ao desenvolvimento das práticas exigidas para a sua gestão, além de colaborar com o processo de erosão dos solos. Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo estimar o aporte de sedimentos, resultante da erosão hídrica laminar do solo, considerando a fragmentação da área da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande (SP), em termos das propriedades rurais nela contidas, com apoio do modelo preditivo Modificação da Equação Universal de Perda de Solo (MEUPS) e das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. Os resultados obtidos indicaram que a perda relativa de solo por propriedade é dinâmica no tempo e no espaço, de modo que aquela que apresenta, em relação a outras propriedades, porcentagens elevadas de perda no período chuvoso, não necessariamente manterá a taxa relativa na época de estiagem. Observou-se também que a bacia apresenta elevado grau de sensibilidade ao manejo agrícola das terras, sendo que 13 propriedades rurais (que correspondem a 72% da área da bacia) apresentaram alto potencial a processos erosivos, com perdas de solo acima de limites toleráveis, condicionado pela influência antrópica na área.

Palavras-Chave: Planejamento Territorial Agrícola; Malha Fundiária; Erosão Hídrica Laminar; MEUPS; Geotecnologias

ABSTRACT

Among various forms of erosion, the laminar erosion is a major soil degradation processes, causing serious damage to the productive sector. This process can be intensified due to inappropriate use man makes of the land, especially in agricultural areas. For to minimize environmental degradation and promote socio-economic development, it is necessary to elaborate a regional planning aimed at maintaining the quality of the physical, biological and social. Considering the watershed as a natural unit for planning, one should consider that it is contained rural properties, which represent a barrier to the development of the practices required to manage, and collaborate with the process of soil erosion. In this context, the goal of this research was to estimate yields of sediment resulting from soil erosion laminar, considering the fragmentation of the area's Monjolo Grande (SP) watershed in terms of rural properties contained therein, with support from predictive model of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) and the remote sensing and geographic information systems. The results indicated that the relative loss of soil from properties is dynamic in time and space, so that it presents, in relation to other properties, high percentages of loss in the rainy season, not necessarily maintain the relative rate at the time of drought. It was also noted that the watershed has a high sensitivity to agricultural management of land, with 13 farms (which represent 72% of the basin area) showed high potential erosion, soil losses above tolerable limits, conditioned by human influence in the area.

Keyword: Agricultural Land Planning; Rural Properties; Laminar Erosion; USLE; Geotechnology

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA erosão hídrica do solo como PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	1
1.1	Planejamento da ocupação territorial: base para o uso sustentável da terra e preservação dos recursos hídricos.....	2
1.2	A bacia hidrográfica como unidade natural de planejamento e gestão da ocupação territorial.....	4
1.3	Condicionantes da erosão hídrica de superfície: estimativa da perda de solo.....	6
1.4	Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no auxílio à modelagem e análise de sistemas ambientais.	10
2	PREMISSAS E CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS: ESCALA DE PERCEPÇÃO DO FENÔMENO, E INCLUSÃO DA PROPRIEDADE RURAL NA ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS	14
3	OBJETIVOS DA PESQUISA E HIPÓTESE DE TRABALHO.....	19
4	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, e CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS DO MEIO FÍSICO..	20
4.1	Quadro Geológico-Geomorfológico regional.....	21
4.2	Unidades litoestratigráficas da área de estudo	22
4.2.1	Formação Corumbataí.....	23
4.2.2	Formação Pirambóia	24
4.2.3	Formação Botucatu	24
4.2.4	Formação Serra Geral.....	24
4.2.5	Formação Itaqueri	25
4.3	Elementos geomorfológicos e estruturais da paisagem	27
4.4	Unidades pedológicas da área de estudo	28
4.5	Condições climáticas	31
4.6	Uso da terra e cobertura vegetal natural.....	31
5	MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1	Materiais, equipamentos e infra-estruturas utilizadas.....	34
5.1.1	Levantamento de documentação cartográfica	34
5.1.2	Equipamentos de laboratório e atividades de campo	35
5.2	Estruturação do banco de dados geográficos (BDG) e elaboração da base cartográfica .	36
5.2.1	Base planialtimétrica.....	36
5.2.2	Ortorretificação das fotografias aéreas	41
5.2.3	Mapeamento da malha fundiária.....	43
5.3	Elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE).....	44

5.3.1	Modelo Hipsométrico.....	45
5.3.2	Carta das classes de declividade	45
5.4	Extração de dados dos parâmetros da MEUPS	46
5.4.1	Fator Topográfico (LS)	47
5.4.2	Determinação e obtenção dos dados do fator de erodibilidade do solo (K)	54
5.4.3	Obtenção dos dados para determinação do fator de uso da terra e cobertura vegetal natural (C)	57
5.4.4	Determinação do fator de práticas conservacionistas (P)	59
5.4.5	Determinação do fator escoamento superficial (runoff)	60
5.5	Segmento de integração e análise da síntese de dados	63
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
6.1	Base cartográfica	66
6.1.1	Mapeamento da malha fundiária, e considerações sobre as propriedades rurais... ..	66
6.1.2	Refinamento do mapa pedológico	72
6.2	Avaliação dos Fatores contemplados pela MEUPS para área da bacia.....	79
6.2.1	Caracterização dos condicionantes naturais de erosão superficial hídrica dos solos (MEUPS) para bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande	79
6.2.2	Caracterização dos condicionantes antrópicos de erosão superficial hídrica dos solos (MEUPS) para bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande	85
6.3	Avaliação da perda de solo por erosão laminar hídrica (PNE, PRE, Expectativa a erosão) para área da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande	89
6.4	Avaliação do PRE e Expectativa a erosão laminar por propriedade rural.....	93
6.5	Apreciação dos resultados e avaliação da hipótese de trabalho	106
7	Considerações Gerais	108
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO COMO PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A evolução da sociedade moderna baseia-se cada vez mais na dependência dos recursos naturais terrestres, que desempenham papel vital no desenvolvimento econômico e no bem estar da população. Sua utilização crescente ao longo da história do homem, envolvendo o avanço científico-técnológico aliado ao aumento demográfico, intensificou os processos de exploração desta riqueza básica. Atualmente, organizações governamentais e não governamentais tem alertado sobre a necessidade premente de ações conservacionistas e mitigadoras para proteção e conservação deste patrimônio. Essas ações têm sido calcadas na ambição de assegurar perpetuamente o aproveitamento dos recursos fornecidos pela natureza.

O êxito deste objetivo, segundo um documento organizado pela UNESCO (HADLEY et al., 1985), pode ser alcançado através de duas metas: o desenvolvimento de uma consciência pública dos riscos ambientais e da necessidade de políticas conservacionistas; e com a obtenção de informações essenciais, mediante pesquisas, para por em prática medidas eficientes de utilização dos recursos, além do controle e reversão da degradação ambiental.

Entre os recursos terrestres degradados pelas atividades antrópicas, destacam-se o solo e a água, intimamente ligados pelos processos hidrológicos, biológicos e físico-químicos que interagem no sistema ambiental terrestre. Como exemplo, a erosão dos solos constitui-se em um grande problema ambiental no Brasil, onde são perdidas, a cada ano, em

torno de 600 milhões de toneladas de solo agricultável, sendo que para o Estado de São Paulo este valor foi estimado em 194 milhões de toneladas de solo por ano (VEIGA FILHO, 1992).

Como resultado da degradação ambiental, o uso inadequado dos solos vem causando a perda gradual de sua capacidade produtiva e contaminação dos recursos hídricos de superfície, devido ao aporte de sedimentos para os canais fluviais, resultando na alteração da qualidade da água e em processos de assoreamento. Estes processos diminuem ou eliminam a vazão de nascentes, modificam o comportamento de escoamento nas calhas dos canais fluviais e diminuem a vida útil de reservatórios (TUCCI, 2000).

As conseqüências são rapidamente observadas nas condições de vida da população. Danos são verificados na saúde humana e animal, há deterioração da cobertura vegetal, queda na disponibilidade e qualidade da água para abastecimento, redução da produtividade agrícola, destruição de obras de infra-estrutura (pontes, estradas, barragens, etc), diminuição da renda líquida e, conseqüentemente, empobrecimento da sociedade local, com reflexos na economia (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1993).

Desta forma, pode-se partir da proposição de um planejamento de ocupação territorial que enfatize o desenvolvimento ambientalmente equilibrado, e atenda aos princípios básicos de sustentabilidade ecológica, econômica, social e cultural (SACHS, 2000), pois o meio ambiente é uma interação entre as esferas do meio físico, biológico e social (SANTOS, 2004).

1.1 Planejamento da ocupação territorial: base para o uso sustentável da terra e preservação dos recursos hídricos

Ao tratar dos processos de alteração do meio ambiente em função das atividades antrópicas, é importante que se tenha claro as definições dos termos “uso da terra” e “uso do solo”, que têm sido utilizados de forma generalizada para indicar as diferentes formas de ocupação agrícola e não agrícola das terras. Lepsch et al. (1991) salientam que o conceito de “solo” é mais restrito, sendo considerado como um conjunto de corpos tridimensionais na superfície terrestre, contendo matéria viva com capacidade de suportar plantas. Já a palavra “terra”, é mais abrangente, pois inclui em seu significado o solo e os vários

atributos de uma área, como o substrato geológico, a hidrografia e os resultados das atividades antrópicas.

Neste aspecto, em estudos geográficos, o termo uso da terra é mais adequado quando se pretende destacar os problemas que afetam a agricultura e a cobertura vegetal nativa de uma área.

O predomínio da idéia entre agricultores de que o solo e sua fertilidade inicial são inesgotáveis, conduz a adoção de práticas que ignoram a capacidade de sustentação e a capacidade econômica de cada parcela da terra (LEPSCH et al., 1991).

Neste caso, Flores (1995) enfatiza a importância do planejamento para a ocupação agrícola das terras, como um instrumento essencial, servindo de suporte para as atividades de produção de alimentos e de matérias-primas, devendo ser conduzido por meio de técnicas que proporcionem a sustentabilidade das atividades produtivas, assegurando o equilíbrio ambiental dos agro-ecossistemas.

Considerando que a produção de alimentos está, em parte, vinculada às condições de fertilidade dos solos, deve haver uma atenção especial para os aspectos relacionados às práticas conservacionistas¹, a fim de diminuir os efeitos da erosão acelerada, que além do impacto significativo sobre o solo, atingem também os recursos hídricos, a vegetação natural e a fauna.

Pode-se considerar o uso inadequado das terras uma das causas de malogro das atividades agrícolas. Assim, de acordo com Pinto (1983), a ocorrência de áreas de discrepâncias, entre o uso efetivo (uso real) da terra e sua aptidão agrícola, pode concorrer, em muitos casos, para o decréscimo da produtividade agrícola, bem como para a degradação dos solos. O termo degradação implica, segundo Barow (1994), na redução da atual ou futura capacidade do solo em produzir, em termos de quantidade e qualidade, bens e serviços.

Spavorek e Lepsch (1995) comentam que é necessário identificar o melhor e mais adequado sistema de uso da terra que garanta uma produção agrícola sustentada no tempo e compatível com as condições ambientais da área. Ainda segundo estes autores, a adequação

¹ Por práticas conservacionistas entende-se, segundo Assis et al. (1967), o conhecimento e o acervo tecnológico disponíveis e aplicados para reduzir os riscos do desgaste do solo.

do uso das terras é realizada através da identificação de áreas que estão em processo de degradação potencial devido à super utilização.

Para Freire (1995), o uso da terra é um dos fatores que influenciam a quantidade de perda de material do solo. Se as limitações de uso em relação às condições ambientais do solo não forem observadas, ocorrerão perdas consideradas inaceitáveis, mesmo se houver a aplicação de práticas intensivas de controle à erosão.

Diante o exposto, a manutenção do equilíbrio ambiental e o desenvolvimento sócio-econômico coerente e ambientalmente sustentável, quanto à exploração dos recursos naturais, tem como ponto fundamental o conhecimento e controle das transformações que decorrem do uso da terra. Isso pode ocorrer através de um planejamento de ocupação das terras que, segundo FAO (1995), tem como função, direcionar as decisões de tal modo que haja um maior aproveitamento pelo homem, sem que ocorra significativa degradação ambiental, dos recursos naturais.

Cunha (1997) levanta o problema da dificuldade na efetivação do planejamento de uso da terra rural por parte dos proprietários, basicamente por conta da escala de análise em que estes trabalhos são conduzidos. Davidson (1992, apud CUNHA, 1997) esclarece que, de modo geral, as cartas de capacidade de uso das terras são elaboradas para unidade de paisagem em escalas que dificultam o acesso das informações aos agricultores, observando o mesmo fato no caso das cartas de aptidão agrícola e em outros tipos de mapeamento temático que poderiam fornecer dados e suporte aos agricultores.

1.2 A bacia hidrográfica como unidade natural de planejamento e gestão da ocupação territorial

O agravamento das condições ambientais decorrente das atividades antrópicas, que na maioria das vezes não levam em consideração as características naturais locais, conduzem a uma série de problemas sócio-ambientais como já mencionado. Observa-se assim a necessidade de um planejamento ambiental com foco em sua gestão. A gestão ambiental é entendida como a integração entre o planejamento, o gerenciamento e a política ambiental (ANDREOZZI,2005; SOUZA, 2003).

De acordo com Souza (2003), planejamento é a preparação para a gestão futura, buscando-se evitar ou minimizar problemas e ampliar margens de manobra. Santos (2004)

indica que o planejamento visa, de maneira conjunta, a adequação de ações à potencialidade, vocação local e à sua capacidade de suporte, buscando o desenvolvimento harmônico da região e a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social. A gestão, para Souza (2003), é a efetivação das condições que o planejamento feito no passado ajudou a construir. Portanto, planejamento e gestão territorial são atividades complementares.

A bacia hidrográfica é definida, segundo Christofolletti (1980), como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto, em que cada um dos elementos, matérias e energias presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados e intrinsecamente relacionados entre si.

Sendo assim, a bacia hidrográfica constitui-se em uma unidade natural básica para o desenvolvimento de estudos que visam compreender e analisar a dinâmica de seus componentes. Como afirma Andreozzi (2005), uma bacia hidrográfica pode ser considerada a menor unidade de paisagem capaz de integrar todos os componentes, a saber: atmosfera, vegetação natural, agricultura, solos, substrato rochoso e corpos d'água, sendo, portanto, um sistema aberto que melhor reflete os impactos das atividades antrópicas.

Russo (apud ANDREOZZI, 2005) lembra que apesar da bacia hidrográfica ser entendida, técnica, científica e politicamente, como unidade de gestão, nela estão contidas propriedades privadas, que representam grande barreira ao desenvolvimento das práticas exigidas para a sua gestão, dada a falta de interação entre os proprietários com o processo de planejamento e gestão. Porém, Andreozzi (2005) salienta que este fato pode ser superado ao incorporar a propriedade como elemento constituinte e atuante nas relações que ocorrem nas bacias hidrográficas. Isto significa que cada parcela do espaço (cada propriedade) pode ser considerada em seu todo e, ao mesmo tempo, em sua relação com as demais parcelas.

Neste contexto, entende-se que a bacia hidrográfica constitui-se uma unidade de planejamento e gestão, na qual devem ser considerados integralmente seus elementos bióticos e abióticos e as relações estabelecidas entre eles.

1.3 Condicionantes da erosão hídrica de superfície: estimativa da perda de solo

A erosão acelerada do solo, conforme já enfatizado pelo USDA Soil Conservation Service (1948), é resultado do desequilíbrio, em geral provocado pela atuação antrópica, que se desencadeia num lapso de tempo a partir da modificação de algum componente da paisagem. Observa-se sempre um forte sinergismo entre a dinâmica da ocupação das terras e processos erosivos dos solos (PINTO, 1991).

Dentre as diversas formas de erosão do solo, a erosão resultante do escoamento superficial das águas pluviais é a que causa conseqüências mais graves à população. Souto e Crestana (2000) descrevem que os problemas derivados da erosão hídrica, podem ser de distintas grandezas. Nos locais onde ocorrem os processos erosivos, verifica-se a perda da capacidade produtiva do solo, devido à remoção de seus horizontes superficiais, por outro lado, os excedentes hídricos que chegam até a rede de drenagem da bacia hidrográfica transportam sedimentos, nutrientes e agroquímicos que alteram a qualidade das águas de superfície.

No contexto das bacias hidrográficas escoamento superficial das águas pluviais gerado nas vertentes, , pode ser interpretado como uma “produção” de água para escoamento rápido e, portanto, as vertentes seriam vistas como fontes produtoras. Este mesmo raciocínio pode ser aplicado aos sedimentos. As vertentes produzem os sedimentos como parte dos processos de erosão hídrica, e estes são transportadas com a água pela rede de drenagem, não sendo possível considerar a vertente e os rios como entidades separadas (TUCCI, 2000).

A remoção de camadas dos solos pelas águas pluviais pode ser caracterizada por dois grandes grupos de ações, divididos segundo a intensidade de carreamento de partículas e incisão no solo: a erosão em lençol, quando a perda de solo pela erosão se dá em camadas relativamente finas e homogêneas, chamado de escoamento laminar; e a erosão linear, que ocorre na medida em que a água se concentra em determinados pontos da vertente devido às depressões do terreno, constituindo-se em pequenos sulcos, ravinas e podendo chegar a um estágio mais avançado que são as chamadas voçorocas (BRAUN, 1961). As causas com que as feições erosivas podem chegar a este estágio avançado são resultantes exclusivamente de causas provocadas e aceleradas por ação antrópica.

Como mostra Bertoni e Lombardi Neto (1993), pode-se dividir em duas as forças que, simultaneamente, atuam na erosão hídrica do solo: forças ativas e passivas. Como ativas, incluem-se as forças exercidas pelas características das chuvas, que agem sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis (dependendo de seu diâmetro), e pelo escoamento superficial, determinado pela declividade, pela extensão da vertente, além da própria capacidade que tem o solo em absorver água. Por forças passivas, entende-se a resistência exercida pelo solo perante a ação erosiva da água, determinada por suas características físico-químicas e pela densidade e características da cobertura vegetal.

Com referência à chuva, é importante destacar que representa o principal elemento do fator climático na erosão dos solos nas regiões tropicais úmidas. A erosão pode ser maior ou menor em função da sua duração, intensidade, distribuição e tamanho de gotas (Wischmeier e Smith, 1958). Em contrapartida, a cobertura vegetal assume destacado papel na proteção natural de um terreno contra a erosão, e exerce diferentes resistências de acordo com os diferentes tipos e densidades de coberturas do solo, sejam nativas ou introduzidas pelo homem.

Com referência aos atributos dos solos, destaca-se o grau de agregação, pois aqueles menos coesos podem ser facilmente desagregados quando úmidos, e transportados pela água. Isto está relacionado com a presença de maiores teores de silte e areia fina (Wischmeier et al., 1978). Solos de textura mais grosseira como areia grossa e cascalho, podem ser também susceptíveis por não apresentarem agregação entre suas partículas (VIEIRA, 1988).

Moniz (1975) indica a agregação do solo como uma propriedade importante, sobretudo por estar relacionada à porosidade. Em geral, quanto maior o volume de poros do solo, maior a possibilidade de infiltração de água das chuvas, e menor o escoamento superficial. A matéria orgânica também influencia bastante a agregação, conferindo maior estabilidade aos agregados através da cimentação das partículas, e com isso, proporciona maior resistência à ação das gotas das chuvas e do escoamento superficial resultando em menor desestruturação e quantidade de solo carregado.

É possível constatar, através da análise da literatura disponível, que a quantificação dos processos erosivos tem sido uma preocupação de inúmeros trabalhos, principalmente,

de geomorfólogos, pedólogos, agrônomos e geólogos. Com ênfase a esta temática, diversas publicações estão disponíveis desde a década de 1950, podendo-se destacar, entre outras, aquelas que balizaram diversos trabalhos, como Strahler (1956), Tricart e Cailleux (1956), Carson (1971), Wischmeier e Smith (1978) e Christofolletti (1980 e 1981).

A análise combinada dos fatores condicionantes da erosão hídrica laminar, para estimativa da perda relativa de solo, pode ser conduzida à luz do modelo da Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (Universal Soil Loss Equation – USLE) sistematizado por Wischmeier e Smith (1978), e inicialmente difundido no Brasil por Bertoni e Lombardi Neto (1985 e 1992). O modelo EUPS tem como objetivo indicar a estimativa da erosão do solo a médio e longo prazos, podendo dar subsídios ao planejamento de práticas conservacionistas visando minimizar a perda de solos em níveis aceitáveis.

A EUPS pode ser genericamente indicada por seus termos componentes como se segue (equação 1):

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Em que:

A – é a perda de solo por ano (T/ha); **R** – fator R, é função da erosividade da chuva, isto é do poder erosivo das chuvas, obtido a partir de formulação que inclui energia cinética das chuva e sua intensidade (MJmm/ ha.h); **K** – fator K ou erodibilidade do solo, obtido através de formulação considerando dados referentes à características de um solo, que determinam sua susceptibilidade à erosão.(ton./ha); **L** e **S** - fator LS, função da topografia, envolvendo, respectivamente, a extensão da vertente (em metros) e a declividade (em %); **C** – fator C, função da cobertura vegetal e seu manejo, obtido a partir de dados (índice), considerando diferentes condições de cobertura do solo proporcionadas pela vegetação natural ou cultivos agrícolas, que neste caso inclui o manejo. (adimensional); **P** – fator P, que se refere às práticas de suporte ou de conservação do solo em áreas agrícolas, constituindo também um índice (adimensional).

Com apoio do modelo EUPS, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos em condições de campo, ao nível de bacias hidrográficas, podendo-se exemplificar: Morgan e Nalepa (1982), Pinto (1983, 1991 e 1996), Bertoni e Lombardi Neto (1985 e 1990), Wilson

(1986), De Gloria et al (1986), Castro e Zobeck (1986), IPT (1986), Donzeli et al (1992), Castro (1992), Lima (2000), Oliveira (2000), Moretti (2001), Silva (2001), Moretti e Lobo (2002) e Pinto *et. al.* (2002) Aquino (2002) Gamero et al. (2004). Pode-se destacar também o trabalho de Cunha (1997) desenvolvido em duas bacias hidrográficas na área do município de Rio Claro– SP, levando em consideração a malha fundiária, adequando os dados obtidos da formulação da EUPS para a área de cada propriedade rural.

Segundo Chaves (1991), a crescente preocupação com problemas de assoreamento e poluição de cursos d'água e de reservatórios contribuiu para o desenvolvimento de modelos matemáticos que buscam prever o aporte de sedimentos em pontos específicos da bacia hidrográfica. Um desses modelos, a Modificação da Equação Universal de Perda de Solo – MEUPS - (MUSLE - WILLIAMS, 1975), é adequada às condições brasileiras, devido à simplicidade de sua estrutura e ao número relativamente pequeno de parâmetros, facilitando a sua aplicação e calibração (Chaves, 1991).

A MEUPS foi desenvolvida a partir da EUPS, e contempla os mesmos fatores desta, com exceção do fator R (erosividade das chuvas), que foi substituído por fatores que abordam os processos hidrológicos na bacia (fator runoff). A MEUPS prevê o aporte de sedimentos oriundos de pequenas e médias bacias hidrográficas, para um determinado exutório da bacia (Chaves, 1991). Este pode ser um talvegue, um córrego, ou um reservatório (Williams, 1975).

A formulação do modelo MEUPS, ajustada e apresentada por Lombardi Neto et al. (1994), é indicada a seguir (equação 2):

$$Y = [89,6 (\mathbf{Q} \cdot \mathbf{qp})^{0,56}] \cdot \mathbf{K} \cdot [0,00984 (\mathbf{L}^{0,63} \cdot \mathbf{S}^{1,18})] \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{P} \quad (2)$$

Em que:

Y = fornecimento de sedimentos para uma determinada chuva (toneladas); **Q** = volume de escoamento superficial (m³); qp = vazão pico do escoamento superficial (m³/s); **K**= erodibilidade do solo (t/ha); **L** = extensão de vertente (m) **S** = declividade (m/m = %); **C** = uso da terra / cobertura vegetal/manejo (adimensional); **P** = práticas de conservação (adimensional).

Deve-se ressaltar a importância do desenvolvimento de pesquisas relativas à avaliação dos resultados gerados através da aplicação dos modelos e aqueles obtidos

através de observações de campo. Neste aspecto pode-se exemplificar, dentre outros, o trabalho desenvolvido por Moretti (2001).

Outros modelos estão também disponíveis e podem ser utilizados como suporte à avaliação da erosão hídrica do solo, como por exemplo, o SWAT (Soil and Water Assessment Tool) e o WEPP (Water Erosion Prediction Project), que do ponto de vista hidrológico são mais completos que a EUPS/MEUPS (MACHADO, 2002).

Os modelos predictivos para estimativa da perda de solo representam também importantes ferramentas que podem viabilizar e agilizar a integração de dados relativos às diferentes variáveis envolvidas na análise temática de interesse (PINTO, 1991, 1996; OLIVEIRA, 2004). Por outro lado, também podem viabilizar a realização de simulação de cenários, e possibilitam subsidiar a indicação de prognósticos.

No XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado na cidade de Florianópolis (SC), em abril de 2007, mediante a exposição de trabalhos e mesas redondas, indicou-se a atual necessidade de que trabalhos voltados à preservação e controle ambiental incorporem novas tecnologias, que possibilitem não somente a extração e análise diagnóstica da área de estudo, mas que viabilizem análises prognósticas, dada a velocidade com que os problemas ambientais ocorrem, e que passam a exigir dos órgãos responsáveis tomadas de decisões em curto prazo. Sendo assim, foi sugerida a integração das técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e de modelagem ambiental.

1.4 Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no auxílio à modelagem e análise de sistemas ambientais.

Christofoletti (1999) afirma que a modelagem de sistemas ambientais trata, primeiramente, da estrutura, funcionamento e dinâmica da organização espacial dos sistemas ambientais físicos.

Logo, entende-se que as informações do meio físico configuram-se como a base para o desenvolvimento do trabalho de modelagem, ao mesmo tempo em que ela própria encerra parte do fenômeno a ser analisado. Joly (2003) lembra que o resultado final de um trabalho cartográfico jamais terá qualidade superior a precisão inicial dos dados

cartográficos de base. Ou seja, a precisão da extração dos dados do meio físico proporcionará o grau de precisão do resultado final do trabalho.

Desta forma, o nível de extração de dados geomorfométricos vem ganhando grande atenção dos pesquisadores. Nesta linha de atuação, destaca-se a série de trabalhos desenvolvidos por Valeriano (2002a, 2002b, 2003, 2004, 2007, 2008) que, integram informações obtidas por dados de sensoriamento remoto, SIG e modelagem, com ênfase nas características topográficas de bacias hidrográficas.

Valeriano (2008), com proposta de refinar as informações geomorfológicas extraídas por meio de SIG, utiliza dados de altimetria do relevo, e modelos digitais de elevação (MDE), para obter as principais variáveis geomorfométricas, como declividade, orientação de vertentes (derivadas de 1ª ordem), e curvaturas vertical e horizontal (derivadas de 2ª ordem). O autor as define como principais, pois, a partir destas, podem ser geradas inúmeras outras, como divisores de água e canal de drenagem, grau de inclinação da vertente; extensão de vertente (VALERIANO 2001, 2002a, 2002b,) que são de extrema importância para obtenção das variáveis contempladas no modelo MEUPS.

O modelo MEUPS prevê analiticamente as variáveis que condicionam e catalisam o processo erosivo para um determinado evento chuvoso. No entanto, para cada variável considerada no modelo há inúmeros métodos de extração, que variam de acordo com o interesse, escala e exatidão cartográfica pretendida, além da documentação cartográfica disponível. Nota-se na bibliografia uma grande variedade de abordagens existentes que se propõe em obter informações geomorfométricas. Desde dados mais generalizados, como o trabalho de Valeriano (2002c) na elaboração de mapa topográfico em escala de 1:1.000.000, ou aqueles que buscam atingir alto nível de precisão e detalhamento, como os trabalhos do mesmo autor já mencionados.

Além dos dados topográficos, informações a respeito do uso da terra e cobertura vegetal (fator C), práticas conservacionistas (fator P) podem ser obtidos por produtos de sensoriamento remoto ao nível orbital e imagens aerofotogramétricas. Como exemplo, Os trabalhos de Sanches et al. (2005) e Todt et al. (2006) que apresentam a capacidade de diferenciação de alvos vegetais e culturas agrícolas em imagens do satélite CBERS e ETM+ do satélite Landsat7.

No entanto estas abordagens já tem sido desenvolvidas desde as décadas de 1970 e 1980, com trabalhos visando a caracterização e monitoramento de indicadores de degradação do meio ambiente. Considerando esta linha de atuação, no Brasil, referenciam-se os trabalhos pioneiros de Pinto (1983 e 1991) e IPT (1986) sobre indicadores de erosão do solo com apoio de imagens de sensoriamento remoto orbital e geoprocessamento.

A erodibilidade dos solos (fator K), determinada em função das características de cada unidade pedológica, pode ser obtida a partir de tabelas disponíveis pela Seção de Conservação do Solo do IAC (DONZELI et. al., 1992) entre outras, e inseri-las de forma sistematizada num banco de dados geográficos, por meio dos sistemas de informações geográficas, ou até mesmo, obtê-las pontualmente a partir de funções de álgebra espacial presente em programas de geoprocessamento, como demonstrado por Maeda (2008).

Neste aspecto, destacam-se as técnicas de levantamento e mapeamento digital de solos, assim como a caracterização de seus constituintes orgânicos e mineralógicos. Tais práticas são determinadas por meio de produtos multi e hiperspectrais de sensores remotos orbitais e aéreos, e aqueles obtidos em campo ou laboratório. Entre outros trabalhos, destacam-se aqueles desenvolvidos por Formaggio e Demattê, que possuem grande acervo referencial nesta temática, podendo destacar, entre inúmeros outros, Formaggio e Galvão (2007), Galvão et al. (2007), e Demattê (2002, 2004a, 2004b, 2007).

Já o volume de escoamento superficial (fator Q) e a vazão pico do escoamento superficial (fator qp), para bacia hidrográficas, são comumente obtidos por técnicas desenvolvidas pelo Serviço de Conservação dos Solos (Soil Conservations Service – SCS), do USDA, denominada por Curva Número (CN). Assim como os valores de erodibilidade do solo, os dados de CN também encontram-se tabelados para diversas condições hidrológicas e de uso e cobertura da terra, seja para áreas urbanas e rurais, que podem ser facilmente inseridas num banco de dados geográficos. Além dos dados tabelados, pode-se também, a partir do levantamento de dados específicos, utilizar a modelagem matemática e técnicas geoestatísticas para interpolar os valores, como observado em MACHADO (2002).

Observa-se assim que independente da escala de análise proposto nos trabalhos que envolvem a temática ambiental, os produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tornaram-se imprescindíveis para a execução do trabalho.

Os sistemas de informações geográficas destacam-se como suporte à aquisição, análise e integração de dados. Estes sistemas de geoprocessamento têm-se mostrado competentes para combinar diferentes dados temáticos e gerar novos produtos cartográficos. Estas operações de análise e integração temática podem ser conduzidas através de uma lógica de sobreposição de dados, definida por uma regra empírica de cruzamento ou através do suporte da lógica da formulação de modelos matemático-estatísticos (OLIVEIRA e PINTO, 2005).

Segundo Machado (2002) a utilização de técnicas de Geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Neste contexto, os SIG se inserem como ferramentas que possibilitam a manipulação de funções que envolvem lógicas pertinentes a estudos ambientais, aplicados a diversas regiões de forma simples e eficiente, permitindo economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (imagens de satélite, mapas topográficos, mapas temáticos, dados de campo etc.) e em diferentes escalas. O resultado, geralmente é apresentado sob a forma de tabelas e mapas temáticos com as informações desejadas (DRUCK et al., 2004).

Mais precisamente a aplicação dos modelos preditivos de perda de solos podem ser operacionalizados por meio do uso de SIG, que possibilita a obtenção de resultados na forma de mapas com a distribuição espacial da erosão na área estudada. Para alimentar este estudo é necessário a geração dos planos de informação (PI) referentes a cada fator da equação adotada, para serem operados através de sobreposição (WANG et al., 2003). Os planos de erosividade (R), erodibilidade (K), fator topográfico (LS) e do fator de uso/manejo (C/P) são construídos dentro do SIG a partir dos planos básicos de pluviometria, dados de solos, elevação e levantamento da cobertura vegetal, através de desdobramentos, cálculos e associações a pesquisas agrônômicas para sua parametrização.

2 PREMISSAS E CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS: ESCALA DE PERCEÇÃO DO FENÔMENO, E INCLUSÃO DA PROPRIEDADE RURAL NA ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS

Na área das Geociências, observa-se a tendência do atual paradigma em direcionar o avanço científico e tecnológico ao entendimento e monitoramento do meio físico terrestre, a fim de oferecer ao homem condições para realizar intervenções ambientalmente sustentáveis. Assim, inúmeros procedimentos metodológicos são desenvolvidos com o objetivo de compreender os fenômenos naturais, assim como a sistemática existente entre seus condicionantes. Nesse contexto, pode-se evidenciar o aperfeiçoamento das geotecnologias, mais especificamente, das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento destinadas à aquisição, tratamento, análise e integração de dados geoespaciais. Tais tecnologias tornaram-se ferramentas² indispensáveis aos estudos ambientais, e pertinentes em qualquer escala espacial de análise, seja ela local, regional ou global.

Livre de qualquer discussão político-econômica, e sem entrar em méritos quanto à ética profissional, deve-se lembrar que o objetivo último de todo aperfeiçoamento técnico-científico é a busca pelo bem estar social (JAPIASSU, 1991). Contudo, apesar da forte ligação entre a produção do conhecimento científico e a sociedade, nem sempre esta é

² O Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento podem ser considerados uma área particular do conhecimento. Todavia, nos estudos em que o objetivo é o monitoramento e o planejamento ambiental, estas ciências são aplicadas como um meio de análise, por isso, consideradas aqui como ferramentas (FUSSEL e RUNDQUIST, 1986).

plenamente atendida e beneficiada pelos resultados daquela. A velocidade com que as tecnologias são desenvolvidas e absorvidas pelos trabalhos científicos, muitas vezes não é acompanhada pela adequação epistemológica e conceitual, capaz de embasar corretamente os critérios metodológicos adotados, e o resultado desta inadequação, pode ser observado na incapacidade de efetivação de diversos trabalhos acadêmicos.

O desenvolvimento de tecnologias implica em novas possibilidades para se abordar um problema conhecido. Mais especificamente, no âmbito deste trabalho, o aperfeiçoamento das geotecnologias permite que inúmeras análises sejam conduzidas em novas escalas. Hugget (1985), explanando sobre a abordagem sistêmica, atribui à diversidade escalar a idéia de níveis hierárquicos com que o pesquisador pode abordar a totalidade de um fenômeno.

A discussão sobre o conceito de escala, enquanto estratégia epistemológica para interpretação da realidade, ganha relevância na medida que a difusão das geotecnologias torna-se uma realidade no meio acadêmico, e com isso, abrem-se as possibilidades de objetivação e análise dos fenômenos geográficos. Castro (2003) lembra que os diversos níveis escalares em que um fenômeno pode ser apreendido exigem a coerência entre o percebido e o concebido, ou seja, coerência entre o modo com que o fenômeno é observado e o conhecimento gerado, pois, segundo Lacoste (1988) diferenças de tamanho implicam em diferenças qualitativas e quantitativas dos fenômenos, ou como afirma Castro (2003), tão importante quanto saber que as coisas mudam com o tamanho, é saber como elas mudam, e quais os novos conteúdos em suas novas dimensões.

É neste contexto que cabe indagar sobre as mudanças que devem ser consideradas na objetivação de um fenômeno, quando imposto a ele diferentes escalas de abordagem.

Ao aplicar esta premissa à teoria sistêmica, entende-se que o exercício de pensar o fenômeno em suas inúmeras escalas, conduz à relativização de suas partes (unidades). Como explicitado por Christofolletti (1999), em novo nível hierárquico, cada componente do todo possui características específicas, podendo ser consideradas como unidade, sendo também analisada como uma totalidade.

Assim, torna-se necessário que a acepção do termo escala supere a simples noção de representação gráfica da superfície terrestre veiculada pela Cartografia. No caso da Cartografia, a escala significa uma fração, razão matemática entre o real e a área

representada (JOLY, 2003). A discussão conceitual que o termo escala encerra, principalmente em estudos de âmbito geográfico, requer apreendê-la, também, como uma estratégia de aproximação ou distanciamento do objeto (fenômeno) em estudo. Desta forma, o termo escala aqui admitido, pode ser aplicado tanto à área territorial que o fenômeno abrange (seu recorte espacial), como também empregado enquanto medida de aproximação do próprio fenômeno observado.

Diante das considerações expostas, podemos concluir que quando se aplica, a um determinado fenômeno, o mesmo procedimento metodológico em seus diferentes níveis escalares, corre-se o risco de desconsiderar elementos que possuam relativa importância. Como mencionado, considera-se relativa, pois, sua importância é determinada em função da escala em que o fenômeno está sendo apreendido.

Em resumo, entende-se que o fenômeno abordado terá seu grau de complexidade determinado em função do nível escalar proposto no estudo. Ou seja, o fenômeno pode ser apreendido pelo pesquisador de maneira mais abrangente, que será melhor compreendida sob a abordagem holística, o que significa, segundo Christofolletti (1999), que procurar-se compreender a totalidade do fenômeno mais que suas partes componentes. Sua contrapartida encontra-se na abordagem analítica, a qual admite escalas mais particularizadas para se abordar o fenômeno, e conduz a estudos de maior detalhe, pois nela o foco está na individualidade dos elementos componentes em cada nível hierárquico do fenômeno.

Considerando o processo erosivo como o fenômeno geográfico abordado na presente pesquisa, entende-se que a visão holística o contextualizará enquanto problema ambiental (impacto), como agente modelador do relevo (processo natural), o incluirá em classes de análise como desmatamento, alteração de cobertura vegetal entre outras. Ou seja, essa abordagem fornecerá informações que não podem ser explicadas pelos elementos que a constituem em seus níveis hierárquicos inferiores, como é o caso do solo, relevo, clima, e algumas intervenções antrópicas. A estes níveis inferiores do fenômeno erosão, cabe à abordagem analítica conduzir a interpretação de cada uma das partes individualmente (solo, relevo, chuva), e permitir que se estabeleça a inter-relação entre elas. Como exemplo claro, a MEUPS, modelo adotado neste trabalho, nada mais é que um encadeamento lógico das unidades (partes) que engendram, a um determinado nível escalar, o processo erosivo. Em

níveis hierárquicos mais inferiores, poderia ser considerando pertinente, por exemplo, a química dos solos, a acidez das chuvas, estrutura físico-biológica das raízes.

No entanto, assumimos aqui a hipótese de que a análise da propriedade rural insere-se como uma unidade pertinente no mesmo nível hierárquico em que se encontram as variáveis contempladas pela modelagem da MEUPS. Isto posto, evidencia-se que neste trabalho, a propriedade rural não será encarada como um “palco” independente sobre a qual se desenvolvem os processos erosivos, ou uma unidade de estudo como a bacia hidrográfica é; mas sim, entendida como uma variável que determina acréscimo de matéria e energia no sistema natural geomorfológico capaz de desencadear e intensificar o processo erosivo na vertente.

Conclui-se assim que se a reflexão referente à escala de análise do objeto em estudo (ponderando se a escala em que o fenômeno está sendo percebido é coerente com o conhecimento que se pretende conceber) anteceder às etapas dos procedimentos metodológicos diminuir-se-á a chance de que haja conflitos entre os resultados do trabalho e sua aplicação social.

No rol dos estudos dedicados à análise da perda de solos e técnicas de manejo de bacias hidrográficas, observa-se, de modo geral, a dificuldade encontrada pelos proprietários rurais para a aplicação do planejamento territorial estabelecido, e conseqüentemente, o insucesso da gestão ambiental. Esta incapacidade pode ser, em parte, explicada pelo fato de que trabalhos científicos voltados ao manejo de bacias hidrográficas de pequeno e médio portes (inferiores à 1000km² ³) desconsideram os limites das propriedades rurais como uma provável variável no entendimento do fenômeno erosivo, elemento importante nesta escala de trabalho. Outro aspecto importante é o fato de que os resultados cartográficos obtidos contemplarão os limites de cada propriedade, o que o tornará de grande valia para quem realmente cabe a responsabilidade de gerir a terra no meio rural

No entanto, a omissão desta discussão no processo de produção do conhecimento não pode ser sentenciada como o único determinante da disparidade entre o planejado e o efetivado. Outro fator relevante é que muitos trabalhos estabelecem o planejamento

³ A hierarquia das bacias hidrográficas segundo seu porte foi apresentada por Christofolletti (1999), no qual estabelece a seguinte classificação: pequena, até 100km²; média, até 1000km²; e grande, acima de 1000 Km². Apesar desta proposta, ainda não há um consenso entre pesquisadores quanto à aceitação desta categorização.

territorial para determinar área sem considerar os reais mecanismos de intervenção que o homem dispõe para a implementação do projeto, havendo a necessidade de, no futuro, estabelecer outras alternativas capazes de contornar os problemas não previstos nas etapas iniciais do planejamento.

Desta forma, entendendo que a presente pesquisa adota uma escala de trabalho com nível de informação de detalhe, e tendo em vista a discussão realizada em torno da escala de percepção do fenômeno, admite-se a hipótese de que a propriedade rural configura-se como um elemento antrópico importante a ser considerado para o entendimento da erosão hídrica dos solos.

A elaboração de trabalhos conduzidos a partir desta premissa permitirá que o fenômeno erosão seja analisado por outra perspectiva, possibilitada em função da adoção de uma nova escala espacial de análise. Como previsto pela teoria sistêmica, cada parte que compõe o todo, pode ser considerada, também, como uma totalidade. Assim, a propriedade rural pode ser abordada em si mesma, como um complexo universo de estudo, considerando que esta encerra atributos sociais, físicos, econômicos e políticos.

3 OBJETIVOS DA PESQUISA E HIPÓTESE DE TRABALHO

Para o desenvolvimento desse trabalho, coloca-se como hipótese que o processo de erosão dos solos, pela ação do escoamento superficial das águas pluviais, pode ser condicionado, também, pelo parcelamento das vertentes, resultante da ocupação agrícola das terras, no contexto das diferentes propriedades rurais contidas em uma bacia hidrográfica.

Desta forma, a presente pesquisa tem como objetivo estimar a produção de sedimentos, resultante da erosão hídrica laminar do solo, considerando a fragmentação da área da bacia hidrográfica, em termos das propriedades rurais nela contidas, com apoio do modelo preditivo Modificação da Equação Universal de Perda de Solo (MEUPS) e das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

Nesta estratégia, os dados permitiram avaliar as propriedades individualmente, em termos do potencial de produção de sedimentos, podendo ser indicadas aquelas que apresentam condições diferenciadas em termos de predisposição ao risco à erosão dos solos e aporte de sedimentos para o exutório da bacia. O estabelecimento de um banco de dados georreferenciado e relacional da área da bacia, contemplando cada propriedade, e envolvendo dados do meio físico, de uso/manejo e práticas conservacionistas, permitiu realizar uma análise diagnóstica e indicar cenários alternativos de uso e ocupação das terras para cada propriedade da bacia.

4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, E CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS DO MEIO FÍSICO

A área de estudo selecionada refere-se à bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande (figura 1), tributário do rio Passa Cinco, sub-bacia do rio Corumbataí (SP). Situada no município de Ipeúna, centro leste do Estado de São Paulo, compreende área aproximada de 28.000 ha (30 Km²), com localização entre as coordenadas 218.881m E; 218.881m N (Córrego Alegre, fuso 23S).

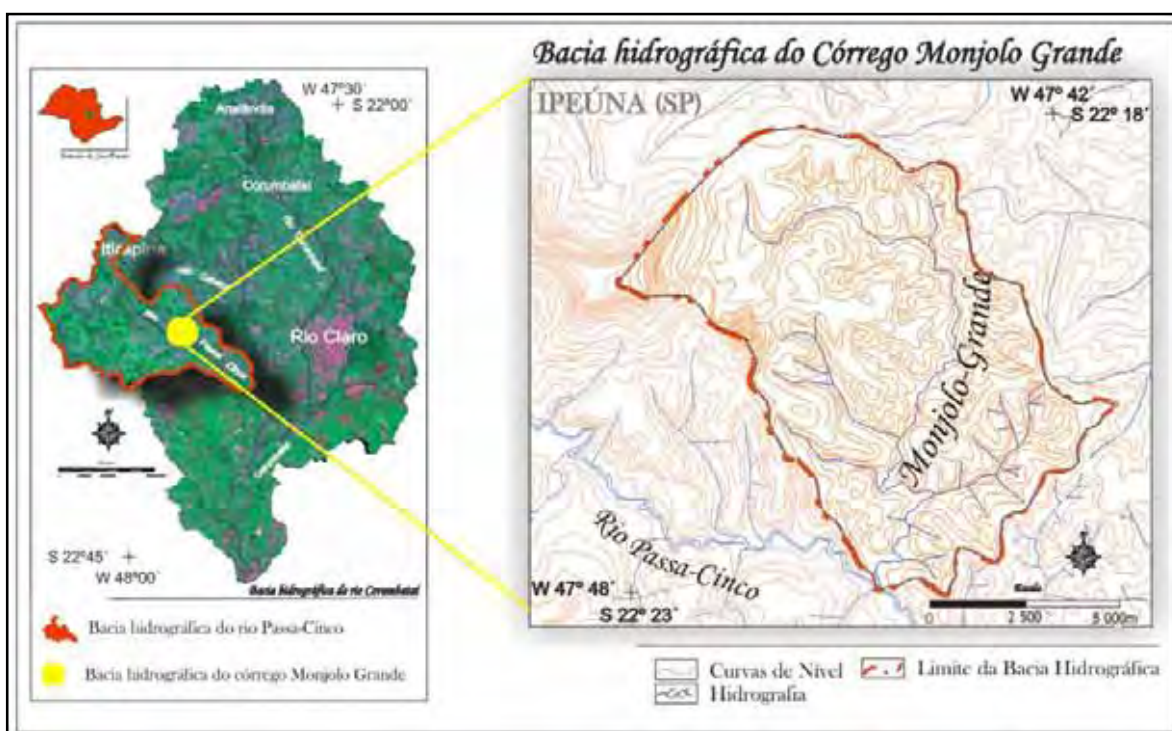


Figura 1: Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande insere-se no contexto geomorfológico da porção centro-oeste da Depressão Periférica Paulista. Autores destacam a forte influência tectônica na região, indicada principalmente por falhas litoestruturais que determinam o padrão de drenagem e a morfoescultura local, além favorecer os processos erosivos devido à orientação e constituição das camadas rochosas, como indica os estudos realizados na área.

Desta forma, apresenta-se nesta seção uma sùmula da evolução geomorfológica regional, assim como a caracterização de elementos do meio físico da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande, indicando os aspectos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e variáveis climáticas, a fim de evidenciar as relações sistêmicas entre os elementos e oferecer indicadores que auxiliem na compreensão do fenômeno “erosão hídrica de superfície” na área de estudo. Importante salientar que para essa caracterização priorizou-se os trabalhos desenvolvidos em média escala cartográfica (até 1:100 000), como as obras de Penteadó (1968); Facincane (1995 e 2000); Cunha (2001); Sousa (2002); e Prado e Oliveira (1981).

4.1 Quadro Geológico-Geomorfológico regional

A descrição geomorfológica da porção central da Depressão Periférica Paulista realizada por IPT (1981) indica dois tipos de feições de relevo dominantes: morrotes alongados e espigões, com interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados. As vertentes se apresentam ravinadas com perfis retilíneos côncavos e convexos, sendo a drenagem de média a alta densidade, com dominância de padrão dendrítico. Vales fechados, colinas médias e amplas, e topos aplainados. As vertentes com perfis convexos e retilíneos conectam-se com drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retângular, vales abertos e fechados, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

A morfoescultura da região está relacionada a soerguimentos e abatimentos caracterizados por pulsos tectônicos que modelaram toda região em seu lado oeste, ocasionando retomadas de erosão pelos principais canais fluviais, resultando no constante dissecação do relevo local (PENTEADO, 1968; SOARES, 1973; FACINCANI, 2000). As amplas movimentações verticais, em virtude dos processos modeladores, geraram coluviamentos contínuos, o que resulta na abundância de depósitos de talus,

desenvolvimento de fluxos de detritos e afloramentos de rocha sã nas regiões escarpadas (FÚLFARO e BARCELOS, 1989).

Os processos endógenos envolvidos na formação da Depressão Periférica Paulista caracterizam-se por pulsações tectônicas com diferentes ciclos de sedimentação e erosão (FÚLFARO e SUGUIO, 1968), influenciados pelas descontinuidades estruturais, que controlam tanto a drenagem como o relevo (FACINCANI, 2000). As direções ENE-WSW/NNW-SSE nas descontinuidades estruturais são preferenciais na região e podem ser visualizadas na atual drenagem, que pode ser dividida em dois sistemas ortogonais de fraturamento formando mosaicos retangulares onde a erosão diferencial age modelando as escarpas das serras (PENTEADO, 1968, e FACINCANI, 2000).

As principais descontinuidades estruturais na região da Bacia do rio Passa-Cinco apresentam direções preferenciais NE-SW, mas as direções preferenciais seguidas pelos principais afluentes deste rio são de direção predominante NW-SE (AMARAL & SOUZA, 1936 apud PENTEADO, 1968).

4.2 Unidades litoestratigráficas da área de estudo

Como indicado em Penteado (1968), as feições estruturais e a neotectônica na área de estudo são importantes condicionantes dos processos erosivos e do modelado do relevo local. Desta forma, não é possível desenvolver nenhuma análise geomorfológica sem considerar a estrutura geológica da área.

Considerando a área da bacia de drenagem do ribeirão Monjolo Grande, observa-se, da base para o topo da bacia do Paraná, a presença das seguintes unidades litoestratigráficas conforme Perinotto (2008): Formação Corumbataí, Formação Pirambóia, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Formação Itaqueri. Estas Formações estão dispostas didaticamente na figura 2, indicada a seguir.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ EM SÃO PAULO								
ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espess. Média (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO	
MESOZOICA	QUATERNÁRIO TERCIÁRIO	BAURURU	RIO CLARO		35	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRES, COLUVIÕES	
			MARILIA ADAMANTINA		30	ARENITOS COM MATRIZ ARGILOSA OU CIMENTO CALCIFERO, SILTITOS	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE	
	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE, DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO <i>(Basalto e diabásio = matéria-prima para brita - pavimentação e construção civil - na região de Rio Claro)</i>	MAGMATISMO FISURAL	
			BOTUCATU PIRAMBOIA		150	ARENITOS SEM SELECIONADOS COM TRAJAS SEM ARREDCADOS E SEM ESPERONAS, POUCA ARGILA <i>Aquífero Guarani</i>	CONTINENTAL: DESERTICO	
	JURÁSSICO	TUBARÃO	CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS, ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilinas = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: LACUSTRE MISTO: PLANÍCIE DE MARÉ	
	IRATI			40	SILTITOS FINOS, LENTES DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS, COQUINAS <i>(Indústria de calcário na região de Aratiba e Irati)</i>	MISTO: LAGUNA/PLATAFORMA		
	TRIASSICO	TUBARÃO	PALESMO TATUI		20 (Tatui) 20 (Palesmo)	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	MISTO: PLANÍCIE COSTEIRA/PLATAFORMA	
			RIO BONITO ITARARÉ		900	ARENITOS E SILTITOS COM INTERCALAÇÕES DE DELGADAS CAMADAS DE CARVÃO <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços profundos da região)</i>	CONTINENTAL: FLUVIAL / COSTEIRO MISTO: DELTAIC/MARINHO RASO	
	PALEOZOICA	PERMIANO	TUBARÃO	EMBASEAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSSES, XISTOS, QUARTZITOS	CONTINENTAL: GLACIAL FLUVIAL LACUSTRE MISTO: MARINHO (GLACIO-MARINHO)
				CARBONIFERO				

Figura 2: Coluna Litoestratigráfica da bacia do Paraná.
Fonte: Perinotto (2008)

4.2.1 Formação Corumbataí

As rochas da Formação Corumbataí, de acordo com o mapa geológico elaborado por Sousa (2002), ocorrem ao longo de toda calha do ribeirão Monjolo Grande, sendo que ao sul do canal, próximo ao rio Passa-Cinco, encontra-se sua área de maior expressão.

Esta Formação é caracterizada pela presença de argilitos, siltitos arenosos e argilosos em sua porção média e superior (LANDIM, 1967). Apresentam-se finamente estratificados, compactos, de coloração que varia de vermelho amarelado a arroxado. Apresentam disposição em acamamentos plano-parallelos, estratificação rítmica marcada por intercalações de arenitos calcificados. Quando alterados expõem-se com coloração amarela esverdeada e fraturas de aspecto pastilhado. Já na porção inferior da Formação Corumbataí, observa-se siltitos maciços de coloração cinza esverdeada a azulada, podendo haver presença de fósseis, como fragmentos atribuídos a escamas e dentes de peixes.

Segundo Sousa (2002) a formação Corumbataí encontra-se em contato discordante com a formação Pirambóia, indicando a ocorrência de falhas geológicas na área, em função da adjacência de formações originadas em épocas distintas.

4.2.2 Formação Pirambóia

A distribuição espacial da Formação Pirambóia é predominante na área de estudo, tendo suas melhores exposições ao norte da bacia, próximo aos canais formadores do ribeirão Monjolo Grande.

É caracterizada por arenito de granulação fina a média com coloração esbranquiçada, podendo variar também em matizes de vermelho e amarelo. Há intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos. Sousa (2002) indica que no topo dessa Formação há presença de níveis conglomeráticos de espessuras milimétricas a centimétricas de granulometria fina a média, formado por quartzo, quartzito e minerais escuros.

As estratificações paralelas e cruzadas em arenitos são características dessa Formação, e podem variar de centimétricas a métricas.

Caetano-Chang (1997) aponta que a espessura da Formação Pirambóia é variável, chegando a atingir 270 metros em seções aflorantes na região de São Pedro e Ipeúna.

4.2.3 Formação Botucatu

Na área de estudo, a Formação Botucatu foi delimitada por Sousa (2002) nos degraus dos morros residuais presentes, capeando as rochas ígneas da Formação Serra Geral.

É constituída por arenitos bem selecionados, friáveis ou silicificados de coloração avermelhada, apresentando granulação média a fina e grãos foscas.

As estruturas sedimentares mais comuns são as estratificações cruzadas de grande porte, indicando deposições eólicas em ambiente desértico (IPT, 1981).

4.2.4 Formação Serra Geral

As rochas intrusivas básicas associadas à Formação Serra Geral são representadas por basaltos e diabásios que se desenvolvem na forma de diques e *sills*, além de derrames pouco espessos e subseqüentes.

Especificamente na área de estudo, essa Formação está claramente exposta nos morros residuais, condicionando suas feições geomorfológicas em relevo tabular (morro do Bizigueli) e piramidal (morro da Guarita), e apresentam típicas disjunções colunares e esfoliação esferoidal (acebolamento) no contato com os arenitos da Formação Botucatu ou Pirambóia.

Estas rochas apresentam-se com estruturas maciças, e coloração que varia de cinza escuro a preta, porém, quando alteradas apresentam cores amareladas.

4.2.5 Formação Itaqueri

Apresentam conglomerados polimíticos e diamictitos, sustentados por matrizes arenosas ou mesmo argilo arenosa, com grande presença de quartzo. Invariavelmente apresentam-se com cores avermelhadas e manchas brancas irregulares.

Segundo Facincani (1995), a distribuição desta unidade estratigráfica ocorre de forma isolada no noroeste do Estado de São Paulo, predominantemente no topo das serras de São Pedro e Itaqueri, no entanto, no interior da bacia do ribeirão Monjolo Grande, apresenta-se pontualmente no topo do morro residual de relevo tabular (morro do Bizigueli), delimitado pelas rochas básicas e arenitos silicificados das Formações Serra Geral e Botucatu respectivamente.

Facincane (1995) conclui que a combinação entre estratificações cruzadas e plano paralelas da Formação Pirambóia favorecem a ação dos processos erosivos, uma vez que a concentração de argilas expansivas nas áreas de estratificação plano-paralela favorece a impermeabilização do horizonte, já o ângulo de mergulho das estratificações cruzadas conduz a descarga do material fino, promovendo os movimentos em massa.

Apresenta-se na figura 3 o mapa geológico obtido a partir da compilação do levantamento realizado por Sousa (2002).

Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do ribeirão Monjolo-Grande (SP)

Unidades Litotestratigráficas

- MESOZOÍCO**
- Formação Itaquê
 - Formação Serra Geral
 - Formação Botucatu
 - Formação Pirambóia
- PALEOZOÍCO**
- Formação Corumbataí (Permiano)

- Limite da Bacia Hidrográfica
- Rede Hidrográfica



Projeção Universal Transversa de Mercator
UTM - FUSO 23
Datum Horizontal - Corrego Alegre

Mapa de Localização

Localização do município de Ipeira no Estado de São Paulo, com destaque à D.O. do ribeirão Monjolo-Grande.



Fonte Cartográfica

Mapa Geológico - BDU/DA, 2002
Disponível em: www.bdu.gov.br
(São Paulo, Francisco, Lutra e Capivari)



Autores
Luiz Henrique Pereira
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Apoio:



Agosto de 2010

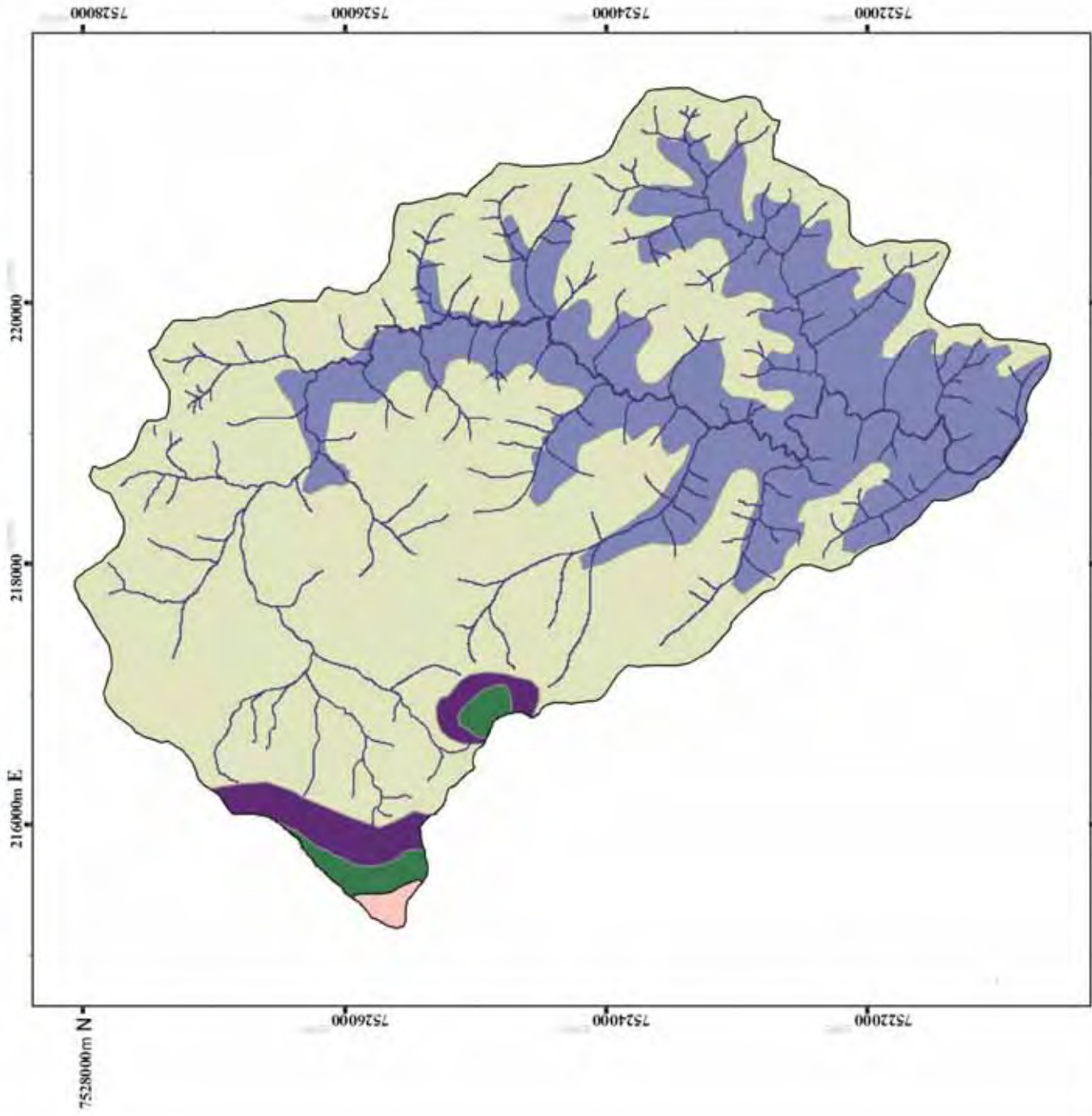


Figura 3: Recorte do mapa geológico para a área da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande-SP

4.3 Elementos geomorfológicos e estruturais da paisagem

De acordo com levantamento realizado pelo IPT (1981), a área de estudo insere-se na província geomorfológica denominada Depressão Periférica Paulista (figura 4), mais precisamente, segundo classificação de Almeida (1964), na porção centro oeste da zona do médio Tietê⁴.

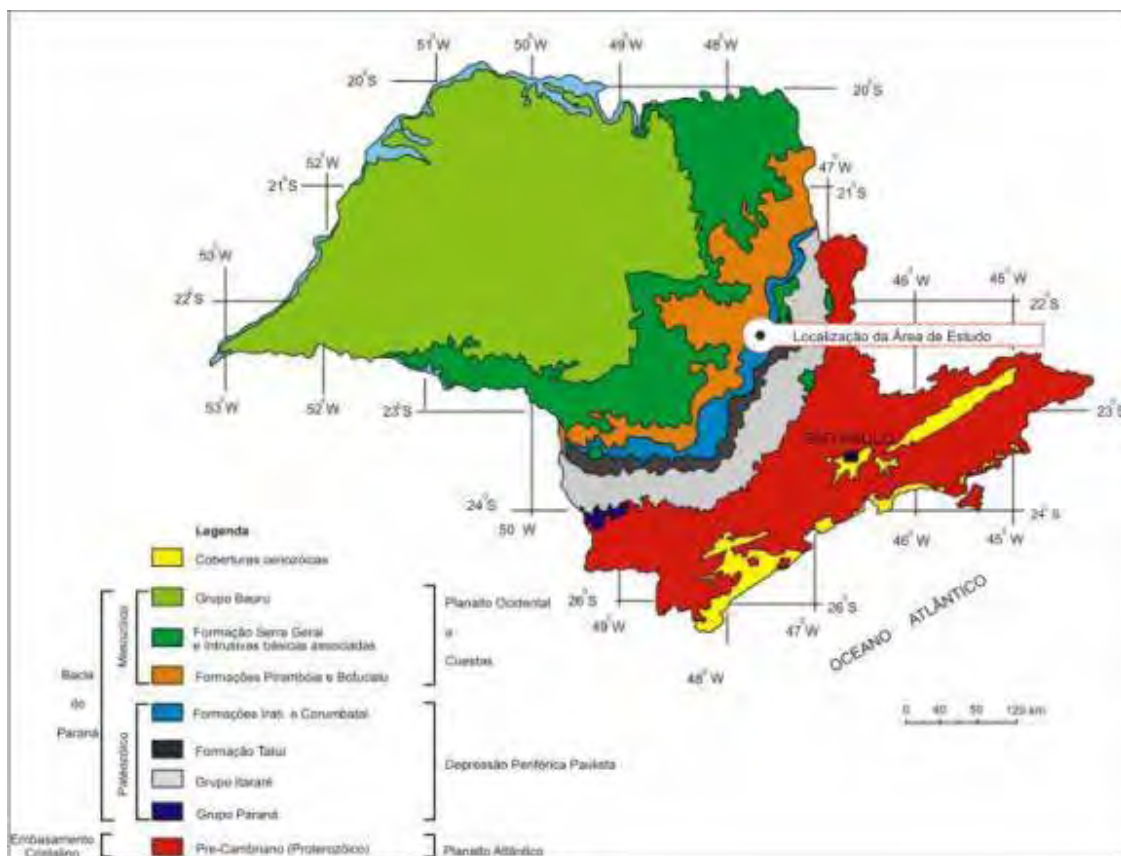


Figura 4: Províncias Geomorfológicas do Estado de São Paulo segundo IPT (1981). Fonte: Perinotto (2008)

Segundo o autor supra-citado, esta área apresenta relevo predominantemente formado por colinas baixas, de formas convexas suavizadas a retilínea, com topos aplainados e interflúvios com áreas de 1 a 4Km² separadas por vales jovens. Os desníveis da área não ultrapassam os 200 metros, com altitude variando entre 550m e 650m, sem planícies aluviais importantes.

⁴ Almeida (1964) divide a província geomorfológica da Depressão Periférica Paulista em três zonas distintas: I - Zona do Migi-Guaçu ao norte; II - Zona do Médio Tietê ao centro; III - Zona do Paranapanema ao sul.

Entretanto, os desníveis topográficos mais significativos ocorrem à margem oriental do canal principal do Monjolo Grande, caracterizados por relevos residuais das escarpas festonadas de front da cuesta arenito-basáltica, com vertentes de alta declividade e drenagens entalhadas, constituindo formas de relevo localmente conhecidas sob a denominação de Morro do Bizigueli e Morro da Guarita, que se sobressaem na paisagem local. Segundo IPT (1981), estes residuais estão associados às camadas sedimentares mais resistentes à erosão ou onde afloram litologias vinculadas aos derrames basálticos, atingindo altitudes de quase 1000 m (IGC, 1979).

Ross e Moroz (1997), com base no trabalho de IPT (1981), classificaram o relevo paulista sob nova abordagem⁵, descrevendo que a região da bacia do ribeirão Monjolo Grande insere-se em uma área de formas muito dissecadas, com vales entalhados, associados a vales pouco entalhados, apresentando alta densidade de drenagem. Indicam também que são áreas sujeitas a fortes processos erosivos, com probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e erosão linear com desenvolvimento de voçorocas, com um alto nível de fragilidade erosiva.

As características descritas nesta seção apontam, apesar de pequena diversidade geomorfológica, a presença de formas de relevo condicionadas tanto pela estrutura geológica, como pela atuação de agentes externos (típicos de regiões tropicais) responsáveis pela esculturação do relevo.

4.4 Unidades pedológicas da área de estudo

Associados aos siltitos e folhelhos da Formação Corumbataí, os processos pedogenéticos deram origem à Argissolos Vermelho-Amarelo (PV), definidos pelas unidades Serrinha e Santa Cruz. Verifica-se que estas unidades apresentam caráter abrupto entre o horizonte superficial e diagnóstico (Bt), evidenciando alto grau de suscetibilidade à erosão. Ainda sobre a formação Corumbataí, a carta pedológica demonstra ocorrência de associações entre PV e solos Litólicos (RL).

Em contato discordante ao longo de toda Formação Corumbataí, encontra-se a Formação Pirambóia, de caráter arenítico, mas com alto teor de argila (FANCICANE,

⁵ Neste trabalho, os autores consideraram que os processos tectônicos e climáticos são os responsáveis pela gênese das unidades morfoestruturais, que por sua vez, estão inseridas em unidades denominadas morfoestruturais.

1995). Assim, observa-se nessas áreas a presença de Argissolos da unidade Serrinha, de baixo gradiente textural (textura arenosa) e Argissolos em associação com Li de substrato arenítico. Ao norte e leste da bacia observa-se também a presença de Neossolos Quartzarênicos profundos (RQ), e associações de Li com substratos de sedimentos finos do Permiano e arenito da formação Botucatu Pirambóia. Segundo Oliveira e Prado (1981) os solos Li apresentam pequena espessura e se constituem de material de grande imaturidade com elevados teores de minerais primários.

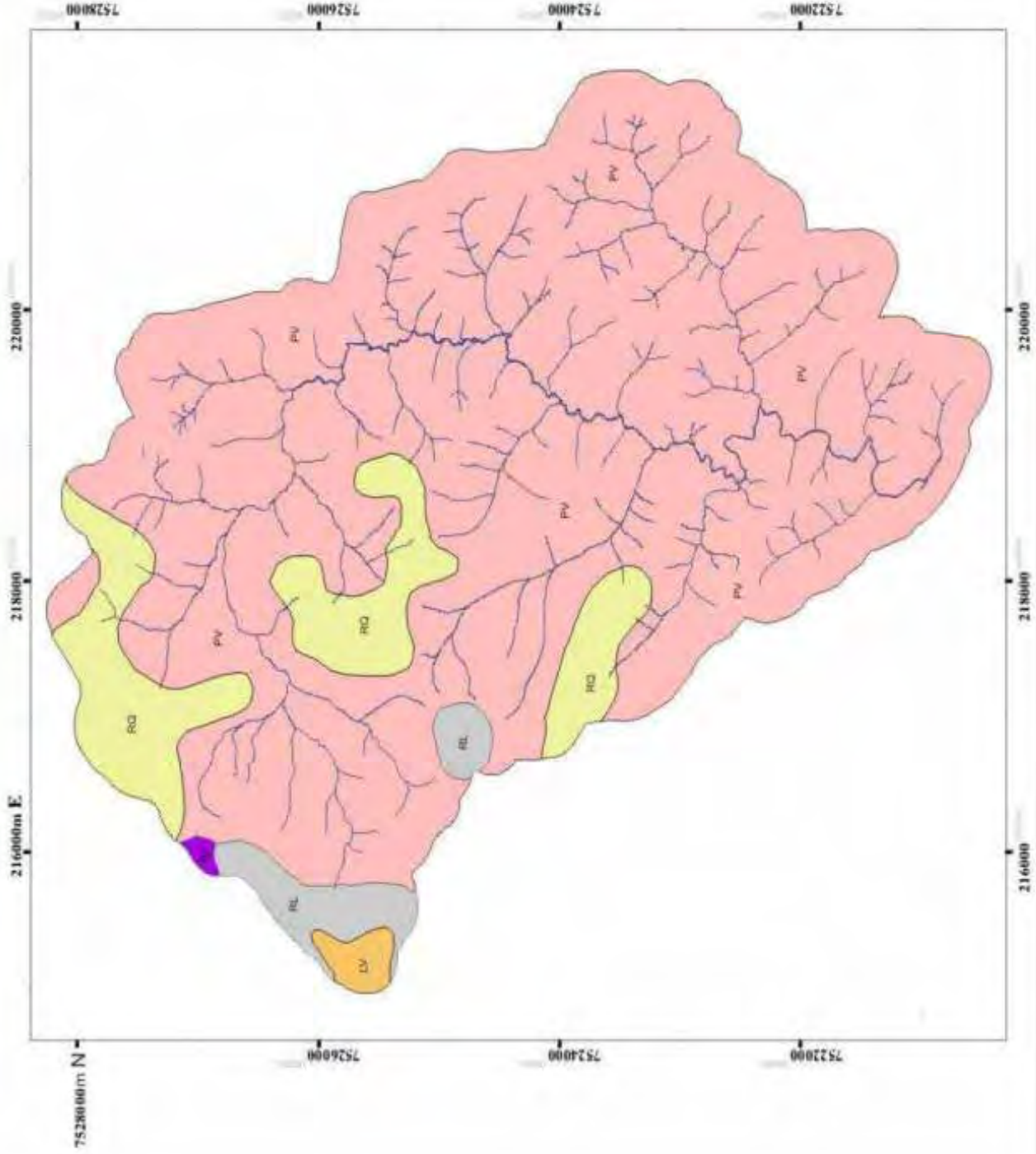
Nos setores de maior altitude, estabelecendo contato direto com a Formação Pirambóia, a Formação Botucatu compõe os degraus dos morros residuais na área, apresentando solos RL e associações de RL com distintos substratos, similares ao descritos anteriormente, ou substratos de basalto e diabásio nos setores de transição com a Serra geral (CUNHA, 2001).

A Formação Serra Geral presente nos morros residuais, intercaladas com fácies areníticas (IPT, 1981) originaram solos Li, além de Nitossolo háplico (NX) com grande teor de argila.

Os materiais conglomeráticos mal selecionados da Formação Itaqueri desenvolveram sobre o topo aplainado do morro do Bizigueli Latossolo-Vermelho (LV), unidade Três Barras, de textura média argilosa.

As características geológicas e pedológicas estão sob condições de clima bastante úmido, com verões chuvosos e invernos secos, como descrito a seguir.

Mapa Pedológico da Bacia Hidrográfica do ribeirão Monjolo-Grande (SP)



Unidades Pedológicas

- Neossolo Quartzarênico**
RQ - Arenas quartzosas profundas, álcicas, A moderado, Unidade Sperrhöe
- Latossolo Vermelho Amarelo**
LV - Alúco, A moderado, textura média, Unidade eils Barras
- Nitossolo**
NV - Distráfica ou Eutrífica, intermediária para Latossolo Roxo, A moderado, Unidade Itaguaju
- Argissolo Vermelho**
PV - Alúquico, álcico, A moderado, textura arenosa-média, Unidade Sperrhöe
- Neossolo Litólico**
RL - Eutrífico, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa, material baseado ou galeoso.



Projção Universal Transversa de Mercator
UTM - FUSO 23
Datum Brasoupar - Conuço Alegre

Mapa de Localização

Localização do município de Agura no Estado de São Paulo, com destaque à B.H. do Ribeirão Monjolo-Grande.



Fonte: C. J. Prado
Quadante de São Carlos (1:100.000).
Folha SP-215-V-A-1
(PRADO) OLIVEIRA, 1981



Edição Cartográfica
Luiz Henrique Pereira Pereira
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto



Julho de 2009

4.5 Condições climáticas

Considerando a distribuição das chuvas e as variações de temperatura ao longo do ano, a área da bacia do ribeirão Monjolo-Grande pode ser enquadrada no tipo CWa, conforme a classificação zonal de Köppen, podendo ser associado ao sub-tropical, com inverno seco e verão chuvoso (figura 6). A média anual da precipitação para a região da cuesta, no alto curso apresenta índices de 1.450 mm, e as temperaturas anuais médias de 18,7°C. Já para as regiões do médio e baixo curso com menores altitudes, a precipitação média anual não ultrapassa 1.250 mm, apresentando temperatura média anual é de 20,5°C.

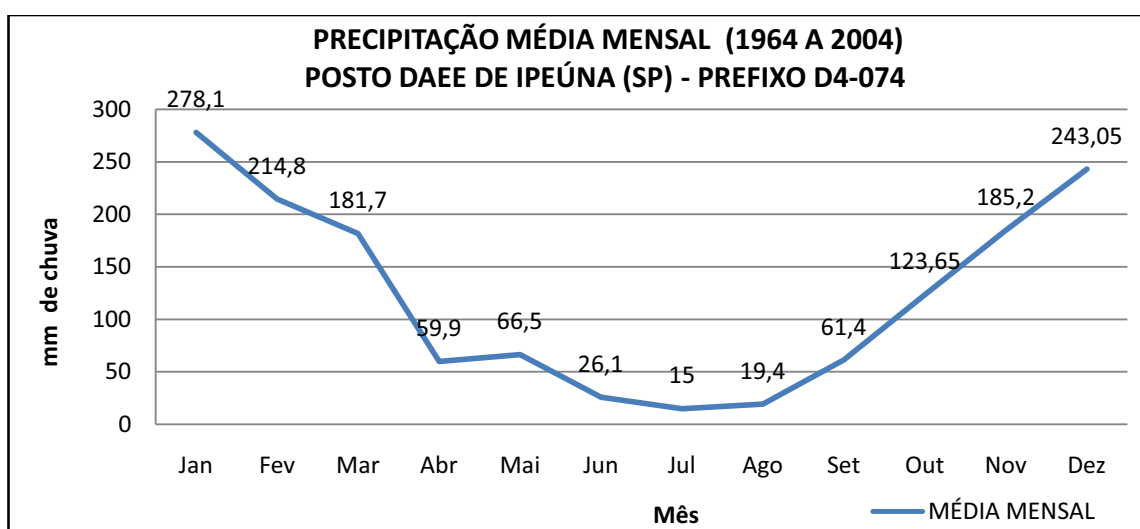


Figura 6: Gráfico da distribuição anual das chuvas. Média Mensal de chuvas para o município de Ipeúna (SP) no período de 1970 a 2004. Posto DAEE: prefixo D4-074.

Os dados registrados no gráfico acima foram obtidos pelos registros online disponibilizados pelo DAEE para o posto de Ipeúna⁶ (SP), localizado ao sul da bacia estudo.

4.6 Uso da terra e cobertura vegetal natural

A exemplo do padrão de uso e cobertura da terra apresentado pela região nos últimos 50 anos, a área do ribeirão Monjolo Grande vem sendo submetida à intensa ocupação antrópica, com a incorporação de grandes áreas agrícolas em detrimento de matas

⁶ Dados do posto de Ipeúna (SP): **Prefixo:** D4-074 / **Bacia:** Corumbatai / **Altitude** (m):630/ **Latitude:** 22°26' **Longitude:** 47°43'. **Fonte:** DAEE - Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH).

de encosta, vegetação nativa e principalmente das áreas de cerrado, como já evidenciado em Koffler (1993) e Pereira e Pinto (2007) e Antonello et al. (2008).

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do rio Corumbataí-SP⁷ para o cenário de 2007, apresentado por Antonello et al.(2008), indica que a bacia de drenagem do ribeirão Monjolo Grande possui um caráter predominantemente agrícola, caracterizado por extensas áreas de pastagem intercaladas por glebas de cana-de-açúcar. A preservação da vegetação nativa restringe-se às áreas protegidas por lei, como aquelas que se encontram nas encostas com declives superiores à 45° (morros do Bizigueli e Guarita), além do mínimo de vegetação ciliar encontrada ao longo dos corpos d'água e a adjacências dos mananciais (PEREIRA E PINTO 2007).

Os autores supracitados afirmam que as áreas do bioma Cerrado presentes nessa área apresentaram um declínio contínuo e acentuado ao longo das últimas 50 décadas, configurando-se como a classe de cobertura vegetal que obteve maior amplitude de redução de área no período em questão. O cerrado sofreu forte pressão por conta da expansão das áreas de pastagem (setores oeste e norte da bacia). Posteriormente, o avanço da cana-de-açúcar determinou sua quase extinção. Pequenos fragmentos do bioma ainda ocorrem no setor norte da área da bacia, próximo às áreas de nascente do ribeirão Monjolo Grande, e no extremo oeste da região, próximo às cabeceiras do rio Passa-Cinco.

⁷ A área de drenagem do ribeirão Monjolo Grande configura-se em uma sub-bacia do rio Corumbataí-SP.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Em termos metodológicos, esta pesquisa se desenvolveu sob os pressupostos da abordagem sistêmica, com forte caráter dedutivo. O enfoque dado às propriedades rurais e a cada elemento condicionante do processo de erosão laminar dos solos atribui ao primeiro seguimento do trabalho o perfil reducionista de investigação. Desta forma, primeiramente apresenta-se o seguimento analítico, conduzido pela lógica dos termos do modelo preditivo MEUPS, caracterizado pelo levantamento, extração de dados, tratamento e descrição (em campo e laboratório) de cada parâmetro utilizado na equação. Posteriormente, os resultados obtidos (dados geomorfométricos e outros parâmetros do meio físico, bem como características de contexto social das propriedades), expressos na forma de modelos numéricos do terreno, foram analisados e confrontados aos dados obtidos em observações de campo, com a finalidade de melhor compreender a totalidade “fenômeno erosivo”, caracterizando assim a abordagem holística (de síntese) do segundo e conclusivo segmento.

Em termos de referências bibliográficas, a condução do raciocínio sistêmico no decorrer de todo trabalho foi orientada principalmente por Christofolletti (1999), já o segmento analítico teve como ponto norteador os trabalhos de Wischmeir e Smith (1978) e Willians (1975), dando especial atenção aos trabalhos que se dedicaram em aprimorar individualmente cada parâmetro da equação, destacando: Valeriano (2002a, 2002b, 2003, 2004, 2007, 2008) e Desmet e Govers (1996) para extração automática do fator topográfico (LS); Donzelli et al. (1992), Pinto (1991) e Lombardi Neto (1993) para os fatores C e K; e USDA (1972) para os fatores Q e qp.

Os procedimentos de campo, em especial aqueles empregados no mapeamento de solos e levantamento de dados por meio de GPS de precisão, foram orientados

respectivamente por (EMBRAPA, 1999) e pelas normas de precisão cartográfica sugeridas pelo IBGE.

5.1 Materiais, equipamentos e infra-estruturas utilizadas

Para o desenvolvimento das atividades, foram utilizados os seguintes itens:

5.1.1 Levantamento de documentação cartográfica

- Mapas Base: Cartas topográficas em escala de 1:10.000 (IGC, 1979), segundo articulação das Folhas, conforme indicada na figura 7:

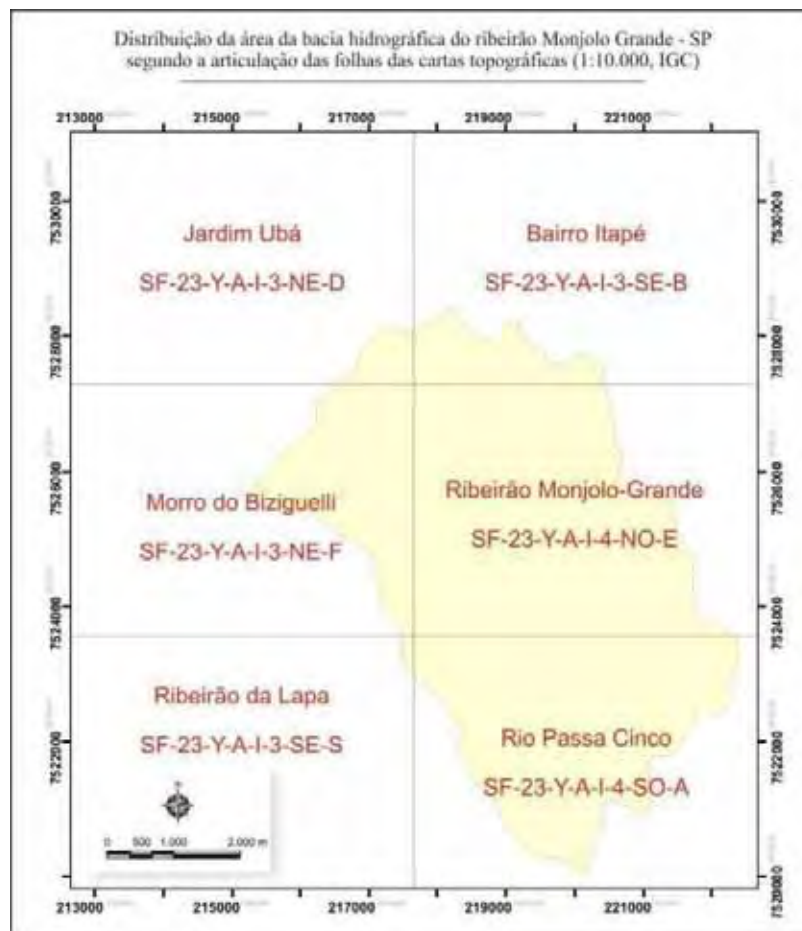


Figura 7:Articulação das Folhas topográficas (1:10.000) que recobrem a área de estudo.

- Mapas Temáticos: Geológico em escala 1:100.000 (SOUSA, 2002); Pedológico em escala de 1:100.000 (Prado e Oliveira, 1981) (analógicos).
- Fotografias aéreas verticais, coloridas, em escala aproximada de 1:30.000, produzidas pela BASE S.A em aerolevanteamento realizado no centro-leste do estado de São Paulo em 2006 (meio digital).
- Fotografias aéreas verticais, pancromáticas, em escala aproximada de 1:25.000, referente aos aerolevanteamentos realizados nos anos de 1962 e 1972 respectivamente por Terra Foto S.A e BASE Aerolevanteamento S.A, disponíveis em CEAPLA/IGCE/UNESP (analógicas).
- Imagens CCD-CBERS-2b (órbita/ponto 155/125), com resolução espacial de 20m, nas bandas referentes à faixa espectral do azul (1) verde (2), vermelho (3) e infravermelho próximo (4), referente à passagem do dia 19/04/2009.

5.1.2 Equipamentos de laboratório e atividades de campo

- Laboratórios de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto do CEAPLA/IGCE/UNESP – Rio Claro
 - Estações computacionais de trabalho.
 - Notebook com bateria adicional de 12 células para realização de trabalhos de campo.
 - GPS de Navegação (Garmin Etrex.) e GPS de Precisão Trimble, Geoexplorer 2008.
 - Máquina fotográfica digital com resolução de 10Mp
 - Estereoscópio de espelho MS16 SOKKIA, ampliação de 1.5x.
 - Estereoscópio de bolso, ampliação de 2.0 x
 - Poliéster Terkron D-0.5, e Poliéster Ultraphan (elaboração de overlays)
 - Scanner HP de alta resolução
 - Lápis Dermatográfico MITSU-BISHI 7600
 - Mesa de Luz
- Sistemas de Geoprocessamento e outros softwares computacionais

- Sistemas de tratamento digital de imagens (SPRING e ENVI 4.6®)
- Sistemas de Informações Geográficas (ArcGis 9.3® e Surffer 8.0)
- Sftwares estatísticos e de modelagem geoestatística de dados (Excel 2007, VarioWin 2.2)
- Software Pathfinder Office® para pré e pós-processamento de dados GPS.
- CorelDraw X4® (edição de mapas e Figuras)
- Corel Photo-Paint X4® (edição das fotografias obtidas em campo)

5.2 Estruturação do banco de dados geográficos (BDG) e elaboração da base cartográfica

Tendo por base os parâmetros envolvidos no modelo MEUPS, juntamente com o objetivo do trabalho, foi possível determinar a estrutura lógica do BDG, de modo a facilitar sua implementação física, organização dos dados e direcionar os trabalhos de campo.

5.2.1 Base planialtimétrica

A construção da base cartográfica é a primeira e mais demorada etapa para o desenvolvimento de trabalhos baseados em geoprocessamento (MINOTI, 2006). Jolly (2001) lembra que os resultados finais obtidos num trabalho cartográfico (temático ou de síntese) jamais serão mais precisos que os dados de base iniciais de um projeto. Desta forma, entende-se que é fundamental o cuidado com o processo de digitalização dos dados analógicos (ou até mesmo prévia avaliação daqueles que já se encontram em meio digital), e minúcia nas etapas de vetorização das informações planialtimétricas (X;Y;Z) básicas.

Assim, as cartas topográficas em escala de 1:10.000 (IGC, 1979) que abrangem a área da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande (figura 7), foram digitalizadas em escâner A0, armazenadas com resolução de 300 dpi em formato *tiff*, e posteriormente, inseridas e georreferenciadas em ambiente SIG (ArcGis 9.3.1).

Como parâmetro de ajuste para o georreferenciamento, utilizou-se o conceito de Erro Admissível (ou Tolerável - E_t) descrito em IBGE (1999), no qual assume que a menor grandeza (M) medida no terreno capaz de ser representada cartograficamente, equivale a 1/5 de milímetro da escala considerada, ou seja (equação 3):

$$E_t = 0,0002 * M \text{ (valores em metros)} \quad (3)$$

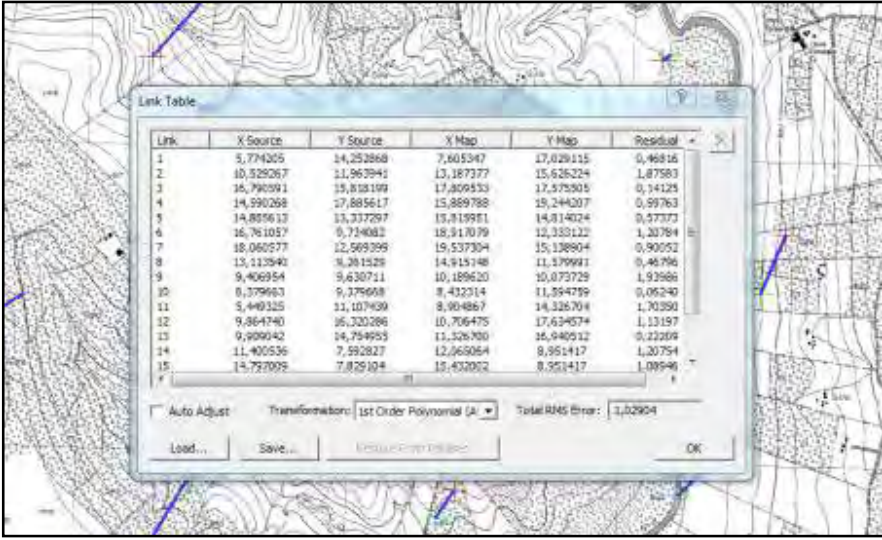
Fixado esse limite, determinou-se que o Et do georreferenciamento para as 6 folhas das cartas topográficas, de escala 1:1000, é de , no máximo, 2m.

$$Et = 0,0002 * 10000$$

$$Et = 2m$$

Por não ser viável a avaliação da precisão do ajuste realizado nas cartas topográficas com sua correspondência em campo, assume-se como verdadeiro o valor indicado pelo RMS (*root mean square*), calculado pelo SIG (ferramenta *Georeferencing*), para cada ponto de ajuste em tela. O RMS é a medida da precisão do registro para um conjunto de pontos (X;Y), segundo determinada transformação matemática (ESRI, 2000).

A unidade de medida considerada pelo cálculo é a mesma em que o projeto está sendo executado. No presente trabalho a unidade é dada em metros, pois considerou-se a quadrícula UTM. A Figura 8 apresenta a margem de erro obtida no georreferenciamento da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande.



Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	5,774305	14,252868	7,605347	17,029115	0,46816
2	10,529267	11,963941	13,187377	15,626224	1,87583
3	16,790391	15,818199	17,809533	17,575205	0,14125
4	14,990268	17,885617	15,869788	15,244207	0,99763
5	14,885613	13,337297	15,811951	14,814024	0,57373
6	16,761057	0,714082	18,917079	12,332122	1,20784
7	18,060777	12,569399	19,537304	15,138804	0,90052
8	13,113942	16,281329	14,915148	11,379991	0,46796
9	9,406954	9,630711	10,189620	10,073729	1,93988
10	0,379693	9,379698	8,432314	11,594759	0,06340
11	5,440325	11,107439	8,904867	14,326704	1,70390
12	9,864740	16,320286	10,706475	17,634574	1,13197
13	9,999042	14,794953	11,526700	16,948912	0,23209
14	11,400536	7,592827	12,265064	8,951417	1,20754
15	14,797092	7,829104	15,437002	8,351417	1,08946

Auto Adjust Transformations: 1st Order Polynomial (A) Total RMS Error: 1,02904

Load... Save... OK

Figura 8: Destaque para o valor total do RMS referente aos pontos de controle inseridos no georreferenciamento das cartas topográficas. Número total de pontos de Controle 27 / Transformação do tipo Polinomial de primeira ordem / Erro Total de RMS = 1.02904m (atendendo as condições de 2m de Et).

Após o georreferenciamento das cartas topográficas, delimitou-se precisamente a área de contribuição da bacia hidrográfica, e extraídos os seguintes elementos: curvas de

nível (com equidistância de 5m), hidrografia e corpos d'água, pontos cotados, rodovias e ferrovias.

Visando obter modelos numéricos do terreno precisos e de geometrias de superfície suavizadas para atender à escala de trabalho, tomou-se o cuidado para evitar a generalização do número de vértices criado durante a edição vetorial das entidades espaciais representadas por linha, como as curvas de nível e a hidrografia.

Neste sentido, é importante destacar que a edição generalizada destas feições interfere negativamente no processo de interpolação dos valores (independente do método de interpolação aplicado), comprometendo as áreas curvas (Figura 9b), tornando-as excessivamente angulosas e retilíneas, resultando, por exemplo, em relevos de estrutura piramidal, com grande quantidade de arestas e planos geométricos, além de quebras de formas de relevo inexistentes (Figura 9 b). Conseqüentemente, importantes parâmetros derivados são afetados, como a declividade⁸.

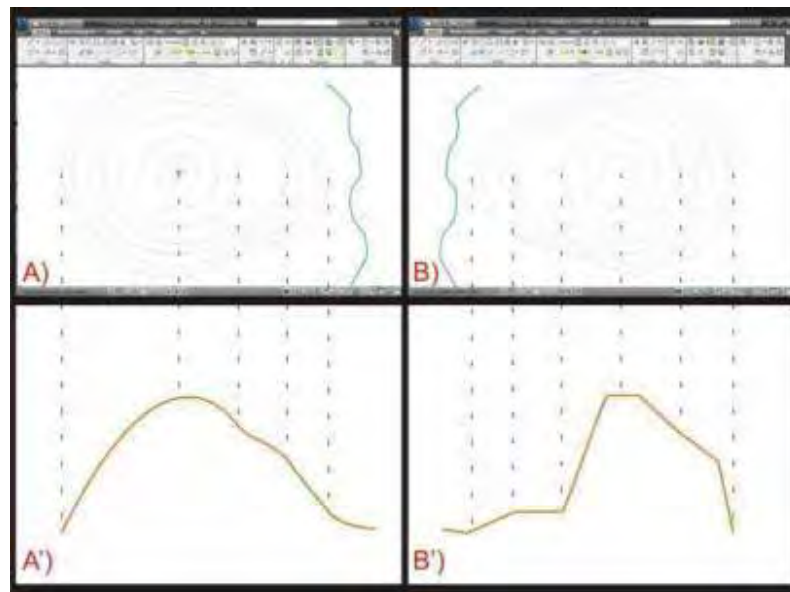


Figura 9: Comparação entre diferentes procedimentos de edição vetorial. A) A edição refinada com maior número de vértices fornece condições favoráveis à interpolação dos dados, resultando em modelos de relevo suavizados. B) Edição generalizada de vértices resulta em modelos da superfície angulosos, dada a falta de informações numéricas para realizar a interpolação.

⁸ O cuidado na edição dos vetores deve sempre ter como parâmetro o bom senso do pesquisador e o objetivo do trabalho. Sabendo-se previamente que a dinâmica do escoamento hidrológico da vertente influencia fortemente nos valores finais da MEUPS, a atenção descrita torna-se essencial para que não haja áreas planas, que posteriormente representarão áreas de acumulação de sedimento, sendo indevidamente excluídas do cálculo.

Além da qualidade da vetorização em termos de precisão e quantidade de vértices atribuídos a um seguimento de reta, deve-se avaliar também as feições em termos de relacionamento de vizinhança, como conectividade, sobreposição de áreas ou mesmo presença de espaços vazios.

A inspeção de erro e a conseqüente correção dos dados vetoriais foram conduzidas de forma sistemática por meio da aplicação e validação de regras topológicas pré-definidas. No caso do ArcGis, essas operações só podem ser realizadas automaticamente entre arquivos que estiverem armazenados no formato de banco de dados com extensão “.mdb” (*Personal Geodatabase*) ou “.gdb” (*File Geodatabase*). A saber, foram selecionadas as seguintes regras básicas para verificação de erros (tabela 1):

Tabela 1: Inspeção e correção de erros na edição vetorial. Regras topológicas disponíveis para verificação e correção automática e/ou supervisionada de erros no SIG ArcGis 9.3.1.

Rotinas de verificação topológicas			
Feição	Indica áreas com sobreposição	Indica regiões de intersecção	Indica pontos/regiões sem conectividade
Linha	-	<i>must not intersect</i>	<i>Must have Dangles</i>
Polígono	<i>must not overlap</i>	-	<i>must not have gaps</i>

Para os vetores correspondentes a linha de drenagem, optou-se por criar um ponto de intersecção a cada área de confluência entre canais, facilitando assim análises geomorfométricas que dependem da avaliação das ordens dos canais segundo método proposto por Strahler (1952). Desta forma, ao *layer* “Hidrografia” foi acrescido um campo na tabela de atributos referente à ordem dos canais (figura 10):

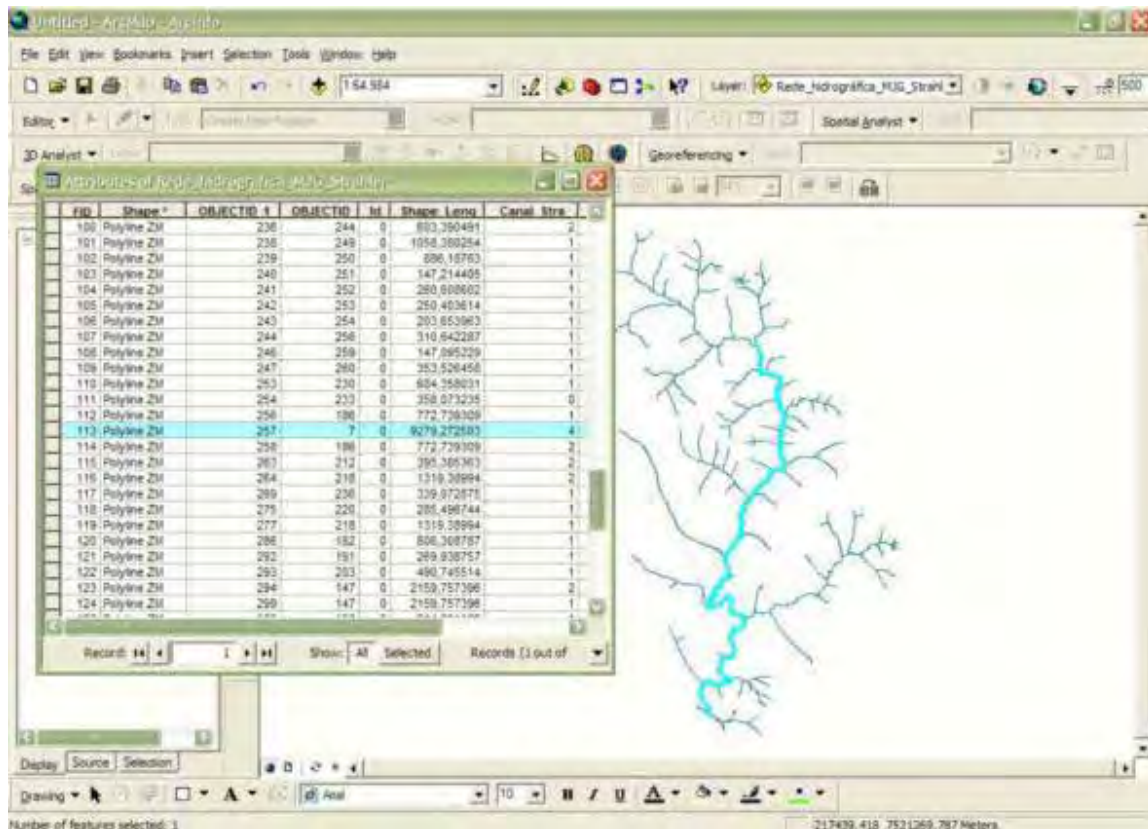


Figura 10: Ordenação dos canais segundo método proposto por Strahler (1952). Inserção de campo na tabela de atributos das geometrias espaciais

Com a base cartográfica estabelecida digital, tornou-se possível a aplicação de rotinas computacionais para aplicação dos modelos numéricos do terreno (MNT), assim como as rotinas de georreferenciamento de imagens orbitais, e ortorretificação das fotografias aéreas.

Ao longo do trabalho, foram obtidos em campo diversos pontos de coordenadas geodésicas com GPS de precisão (modelo Trimble, Geoexplorer 2008). Esses pontos foram incorporados à base cartográfica de modo a atenuar possíveis distorções provenientes da contração e dilatação das cartas topográficas analógicas (ocasionadas em função da umidade e calor) e das etapas de digitalização das cartas.

As cartas temáticas (pedologia e geologia) que foram levantadas como dados de base, foram digitalizadas em escâner colorido, tamanho A0, e aplicado os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

O mapa geológico foi obtido da obra de SOUSA (2002)⁹, publicado em escala cartográfica de 1:100.000, referente às Cartas (1:50.000, IBGE) das Folhas Itirapina, Rio Claro, São Pedro, Piracicaba, Laras e Capivari, e o mapa de solos refere-se ao levantamento semi-detalhado do Estado de São Paulo da quadrícula São Carlos, escala 1:100.000 (OLIVEIRA E PRADO,1981), o qual tomou-se como suporte cartográfico para o detalhamento das classes pedológicas em laboratório e campo.

5.2.2 Ortoretificação das fotografias aéreas

Para compor a base cartográfica, foram obtidas as fotografias aéreas que recobrem a área da bacia. A sistematização e características destes produtos estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Relação das aerofotografias utilizadas na área da bacia do ribeirão Monjolo-Grande

Faixa do voo	N- da Fotografia	Características
136	4159 / 4160 / 4161	Escala aproximada de 1:30.000; Coloridas; disponíveis em meio digital.
135	6291 / 6290 / 6289	Aerolevanteamento realizado por: Base Aerofotogrametria S.A, no mês de junho de 2006. ¹⁰

No entanto, para que as fotografias tenham valor cartográfico, e principalmente possam ser utilizadas como fonte de informações métricas, torna-se necessário corrigi-las geometricamente, com técnicas que relacionam parâmetros do sensor imageador, com as relações cartesianas inerentes à fotografia e valores correspondentes ao geóide, a fim de eliminar distorções relativas a rotação da câmera durante o voo e, conseqüentemente, as distorções de relevo. Assim, o processo de ortoretificação consiste em transformar a

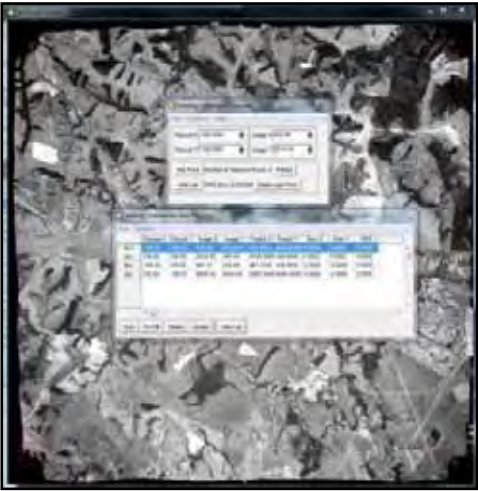

⁹ Em sua tese de Doutorado, Sousa procurou definir as estruturas geológicas presentes nos domos de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia, e para isso, a autora refinou o mapeamento geológico existente para a região.

¹⁰ De acordo com a empresa responsável pelo aerolevanteamento (BASE Aerofotogrametria S.A) as imagens podem ser ampliadas em até 10x sem que haja perda de resolução.

perspectiva cônica da aerofotografia em ortogonal, minimizando as distorções radiais das bordas da fotografia.

Para realizar a correção, georreferenciamento e mosaico das fotos, optou-se pelo procedimento de ortorretificação de imagens disponível no Software ENVI 4.6. Os procedimentos e alguns parâmetros da ortorretificação estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3: Procedimentos adotados para ortorretificação de imagens aerofotogramétricas no Software Envi 4.6

<p>Criar orientação interna</p>	<p>Fornecimento dos parâmetros da câmara e relacionando-os com as marcas fiduciais e distância focal.</p>	
<p>Criar orientação externa</p>	<p>Após estabelecida a orientação interna da aerofotografia, esta etapa consiste em associar pontos homólogos desta com pontos conhecidos no terreno (X; Y e Z). para isto, utilizou-se pontos coletados por GPS; e pontos obtidos do modelo digital de elevação (MDE), derivado da base cartográfica estabelecida previamente.</p> <p>Importante salientar que para aumentar a precisão do georreferenciamento, optou-se por reamostrar o tamanho do pixel do modelo digital de elevação (item 7.3) para o mesmo da foto (3m). desta forma, 1 pixel do modelo corresponde a 1 pixel da aerofoto, reduzindo assim as incertezas na associação entre os pontos’.</p>	

Os detalhes matemáticos e conceituais dos procedimentos de ortorretificação são largamente difundidos nos manuais de aerofotointerpretação, como Muler e Muller (1952) e o próprio tutorial do software.

As etapas apresentadas na tabela 3 foram realizadas para cada uma das aerofotografias. Finalizada as correções, foi elaborado o mosaico aerofotogramétrico com base no georreferenciamento de cada ortofoto (mosaico controlado).

A precisão geométrica oferecida pelas ortofotos, aliada a sua alta resolução espacial (1m), permitiram que o mosaico elaborado fosse adequadamente empregado como base cartográfica para o mapeamento dos limites das propriedades rurais, e fonte para extração dos dados de uso da terra e cobertura vegetal, pois os erros de deslocamento da imagem não ultrapassam o Et permitido.

5.2.3 Mapeamento da malha fundiária

A malha fundiária constitui-se em informação relevante neste trabalho, em conformidade com os objetivos propostos. Foi dada especial atenção ao seu mapeamento, de forma que este fosse realizado com grande precisão. Contudo, a metodologia estabelecida não visa o georreferenciamento da propriedade rural para fins de matrícula, como previsto pela Lei 10.267/2001, mas sim a vetorização simplificada de seus limites sem se preocupar com cada um dos vértices que compõe a poligonal da propriedade.

Desta forma, estabeleceu-se procedimento metodológico no qual os dados referentes aos limites das propriedades rurais foram obtidos em três diferentes etapas:

- Levantamento de dados legais junto ao setor público responsável (Casa da Agricultura e CATI – Coordenadoria Assistência Técnica Integral).
- Confirmação de dados em campo com GPS e consulta com os proprietários.
- Transferência das informações obtidas para a base cartográfica

As informações das propriedades rurais que compõe a bacia do ribeirão Monjolo Grande foram fornecidas pelo Eng. Agrônomo Luis Antonio Scotton, responsável pela CATI do município de Ipeúna-SP, e coordenador do programa LUPA. Juntamente com a indicação das propriedades, foram disponibilizados os formulários cadastrais de cada UPA,

com informações dos anos de 2007/08 (posteriormente, o conteúdo destes formulários foram utilizados para determinação dos valores do Fator P – Práticas conservacionistas – da MEUPS).

De posse destas informações foi possível estabelecer um esboço preliminar dos limites, uma vez que a operacionalização do projeto LUPA exigiu a realização do levantamento (pontual com alguns pontos de referências) e atualização das propriedades rurais existentes no município (que ao todo, totalizam 450). Definiu-se assim um roteiro para orientação da confirmação dos limites das propriedades em campo.

Primeiramente, sob a supervisão do Engenheiro Agrônomo responsável, foram levantados pelas estradas rurais, os pontos de intersecção entre propriedades, além de seus pontos centrais (totalizando 3 pontos por propriedade apenas em sua fachada).

Para cada ponto levantado com GPS, o vetor preliminar das linhas divisórias era confirmado e/ou atualizado. Sistemáticamente desta forma, todos os pontos de controle (GPS) coletados em campo foram inseridos no BDG, e todos os limites das propriedades foram traçados.

Numa segunda etapa, os pontos e/ou vetor dos limites não condizentes com o observado em campo, foram destacados para novas aferições, além de obter informações com proprietários.

Com base nesses procedimentos, foi possível integrar as informações cadastrais de cada UPA à base cartográfica estabelecida, obtendo o mapa da malha fundiária da área da bacia do ribeirão Monjolo Grande, indicado na figura 16.

Ao final desta etapa concluiu-se a elaboração da base cartográfica, dando início ao processo de interpolação e modelagem.

5.3 Elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para a elaboração do modelo, utilizou-se o programa ArcGis 9.3.1 (ESRI, 2005). A partir dos valores de altimetria das curvas de nível e dos pontos cotados¹¹, foram obtidas grades triangulares (TIN - Triangular Irregular Network) por meio do interpolador “*create TIN from features*”, incorporando a rede de drenagem como linha de quebra.

¹¹ Segundo Lopes (2006), os pontos cotados são essenciais para evitar a triangulação do modelo em planos horizontais, o que torna as superfícies geometricamente aplainadas.

Após a geração da Grade TIN, os arquivos foram rasterizados por meio da rotina “*TIN to Raster*”, com pixel de 2m².

Foi também criado um MDE a partir do interpolador “*topo to raster*”¹², o qual emprega um algoritmo concebido especificamente para a elaboração de modelos digitais hidrologicamente corretos (ESRI, 2005).

A partir do MDE, foram elaboradas as cartas de classes de hipsometria e de declividade por meio das opções *Surface* presentes no módulo *Spatial Analyst Tools*, além dos perfis topográficos da área de estudo.

5.3.1 Modelo Hipsométrico

A fim de realçar as diferenças de geometria no relevo e facilitar a visualização e interpretação de dados temáticos, optou-se em classificar a carta hipsométrica em um grande número de classes, como apresentado na figura 11. Observa-se que 80% das variações altimétricas ocorrem aproximadamente entre 600 e 700m de altitude, desta forma, para a definição dos intervalos de classes, utilizou-se o método *geometric interval*, que procura otimizar a amplitude de cada classes em função do número de ocorrência entre os dados (ESRI, 2005), sendo assim, a distribuição entre as classes não são homogêneas.

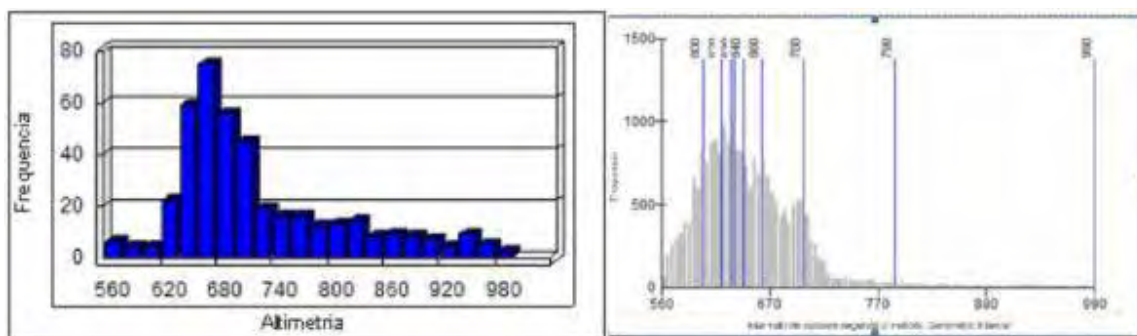


Figura 11: Definição dos intervalos de classes para os dados de altimetria

5.3.2 Carta das classes de declividade

A carta de classes de declividade foi definida segundo as propostas metodológicas da EMBRAPA (1999) e Ramalho Filho e Beek (1995), as quais estabeleceram os

¹² Este procedimento consiste em inferir linhas de fluxo de escoamento superficial impondo restrições altimétricas ao seu redor, o que resulta em uma estrutura de superfície vinculada à rede de drenagem, condicionado maior precisão na modelagem das superfícies (ESRI, 2000).

intervalos das classes, respectivamente, segundo a ocorrência de unidades pedológicas e segundo o grau de limitação ao desenvolvimento de culturas agrícolas por suscetibilidade à erosão. Desta forma apresenta-se a seguir a tabela 4 com as classes de declividade:

Tabela 4: Intervalos de classe para os dados de declividade segundo proposta de EMBRAPA (1999) e Ramalho Filho e Beek (1995)

Classes de Declividade (%)	Relevo (EMBRAPA, 1999)	Grau de limitação ao cultivo agrícola (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995)
0 a 3	Plano	Nulo (N)
3 a 8	Suave ondulado	Ligeiro (L)
8 a 13	Ondulado	Moderado (M)
13 a 20		Forte (F)
20 a 45	Forte ondulado	Muito Forte (MF)
45 a 100	Montanhoso	Extremamente forte
> 100	Escarpado	

Os produtos elaborados até esta etapa foram fontes de informação essenciais para a compreensão da dinâmica ambiental da área. De posse dos modelos descritos, foram obtidos perfis transversais ao longo do eixo do canal do ribeirão Monjolo Grande, como subsídio à compreensão do comportamento geomorfológico, pedológico e geológico da área de estudo. As informações hidrográficas, geológicas, e geomorfológicas foram analisadas e interpretadas segundo propostas metodológicas de Ray (1963), Ricci e Petri (1965), Soares e Fiore (1976), Oliveira e Brito (2007) e Florenzano (2008).

5.4 Extração de dados dos parâmetros da MEUPS

As questões inerentes ao problema da escala de análise, já discutidas no capítulo 3, condicionaram fortemente os procedimentos adotados na extração de cada fator contemplado na modelagem. Em especial, o artigo realizado por Chaves (1991) sobre a sensibilidade dos parâmetros da equação, no qual conclui que o fator topográfico (LS) é o de menor sensibilidade relativa ($S_r < 0,5$), foi decisivo para se determinar que a extensão de vertente (L) e a declividade (S) deveriam ter os valores o mais detalhados possível, para que sua influência se igualasse, ou mesmo sobrepujasse, os outros fatores no resultado final, uma vez que as observações de campo e a bibliografia disponível para a área da bacia,

apontam que as condições de relevo peculiares da área de estudo interferem fortemente no processo de erosão superficial dos solos. Desta forma, tornou-se essencial a avaliação entre diferentes procedimentos de extração de dados do fator topográfico que possibilitassem modelar a vertente em sua complexidade, mapeando as áreas de concavidade e convexidade para uma mesma topossequência. Conseqüentemente o fator K (erodibilidade para cada unidade pedológica) também se caracteriza como elemento determinante, uma vez que as formações Piramboia e Botucatu contribuem com o material arenoso no solo, e as abruptas rupturas de declive permitem a acumulação de argila, o que exigiu o detalhamento do mapa pedológico existente.

5.4.1 Fator Topográfico (LS)

Com adaptações às condições brasileiras, Bertoni e Lombardi Neto (1994) ajustaram a proposta inicial de Wichmeier e Smith (1978), e rerepresentaram o cálculo de Williams (1975), conforme indicado a seguir (equação 4):

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

Para a determinação do fator topográfico, extensão de vertente (L) foi individualmente obtido segundo proposta de Desmet e Govers (1996) e Valeriano (2003). Estes autores foram selecionados após a realização de diversos testes com outros métodos, como o utilizado por Donzeli et al. (1992); Moore e Burch (1986) e Kinnel (2005).

Definiu-se, analogamente, extensão de vertente como o conceito de rampa descrito por Christofolletti (1980), em que representa a porção da vertente onde há o predomínio de transporte de material, compreendida entre o início da primeira quebra de relevo, a partir da área do divisor, e o início da secção da vertente onde a dinâmica deposicional é mais expressiva.

Desta forma, foi adotada a abordagem proposta por Valeriano (2003) para extração dos divisores de água; Desmet e Govers (1996) para o cálculo da extensão de vertente, e com trabalho de campo para mapeamento das áreas de deposição ao longo do canal principal. Estas etapas estão detalhadas a seguir:

5.4.1.1 Delimitação dos divisores de água

Para a obtenção dos divisores de água da área da bacia, partiu-se dos valores do MDE, extraindo uma grade equiprovável de 2m (tamanho de cada célula), totalizando uma matriz de 22.695 linhas x 22.695 colunas. Posteriormente, a matriz de valores associadas aos pares de coordenadas planas foram exportados para o programa Excel, sendo elaborada uma planilha contendo: ID (identificador para cada pixel); Coordenadas X e Y; e valor altimétrico (Z).

O processamento aplicado sobre os valores de altimetria em cada pixel se baseia na propriedade da 2ª derivada, cujo propósito é evidenciar os pontos de máximo e mínimo de uma função, ou seja, o cálculo da derivada aplicado aos valores do MDE tende a evidenciar as áreas de topo da vertente e de fundo de vale. Para tanto, foi aplicado o método estatístico da regressão linear aos dados, a fim de obter o resíduo, denominado de 1ª derivada (figura 12a).

Em seguida, como indicado em Valeriano (2001), aplicou-se uma série de filtros direcionais sobre cada pixel da 1ª derivada, sendo possível verificar os pontos correspondentes a um máximo ou mínimo local. Este princípio, embora concebido com base no cálculo diferencial, pode ser simulado de maneira simples através de recursos disponíveis em programas de geoprocessamento. Assim, no software *Surfer*, foram aplicados filtros para calcular gradientes em direções arbitrárias aos valores da derivação da superfície altimétrica. Foram elaborados 4 filtros direcionais (E, NE, N, NW), de dimensões de 3x3 pixels, que atribui ao pixel central o resultado da subtração entre vizinhos na mesma linha. A figura Figura 12 ilustra a distribuição de valores para a composição dos filtros direcionais.

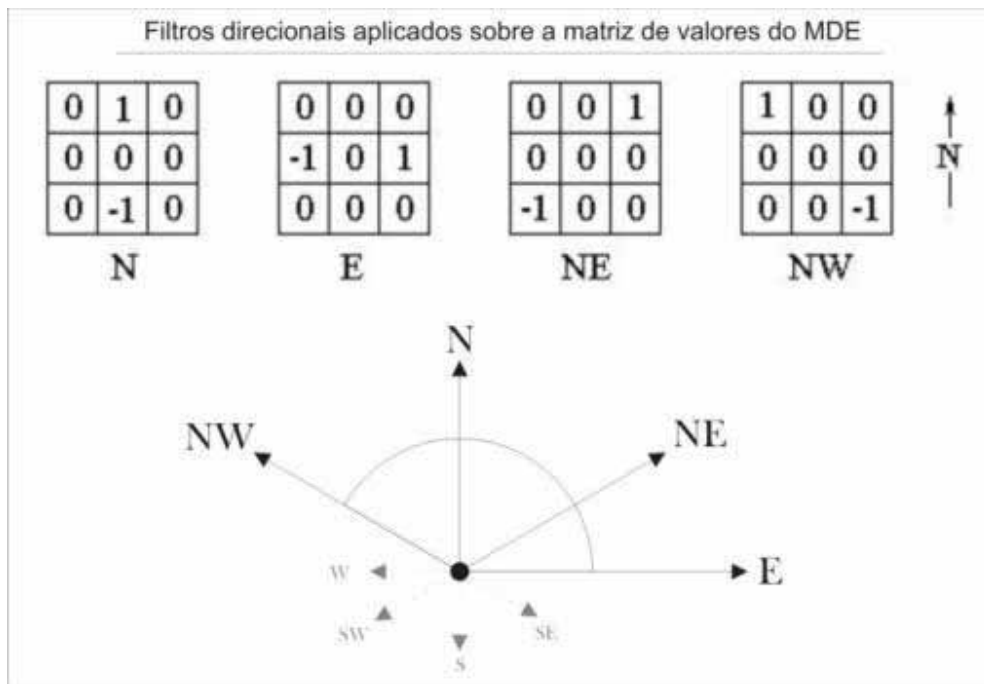


Figura 12: Filtros Direcionais Aplicados aos valores da 1ª derivada Fonte: Adaptado de Valeriano, 2001

Neste procedimento, com a subtração dos pixels vizinhos pelo pixel central, a matriz original ¹³ ficou reduzida de 26.100 linhas x 26.100 colunas para 8.700 x 8.700, causando a degradação da imagem.

Para cada uma das direções, a filtragem gera uma imagem de valores positivos e negativos. Para o resultado que se pretende obter, é necessário que os valores tenham seus módulos padronizados mantendo-se o sinal da derivação. Isto foi feito dividindo-se a 1ª derivada pelo seu próprio módulo ($y = x \cdot |x|^{-1}$), resultando em pixels com valores +1, -1, e, ocasionalmente, nulos. Esta imagem foi denominada por Valeriano (2001) de “sinal da derivada”, havendo uma para cada direção analisada (figura 13b).

Novamente, foram aplicados os mesmo filtros direcionais sobre os respectivos sinais da derivada (filtro *da direção x1* sobre sinal da derivada *da direção x1*), resultando no realce, com valores não-nulos, dos pixels onde ocorreu inversão do sinal. Estas imagens, foram denominadas por Valeriano (2001) de “2ª derivada” (figura 13c), e têm valores nulos

¹³ O que implicará na perda de resolução na imagem final, em função da generalização ocorrida.

ao longo das vertentes, positivos (+2) nos pontos de mínimo (fundo de vale) e negativos (-2) nos de máximo (divisores de água).

As 4 imagens de 2º derivada obtidas foram sobrepostas no intuito de representar as ocorrências de drenagem e divisores de água para todas as direções geográficas (N, S, L, W). As opções de álgebra de mapas disponíveis no software *Surfer* permitiram a conclusão desta etapa (figura 13d). Para apresentação final do mapa de divisores de água, foram realizadas sucessivas operações de edições gráficas, combinadas para proporcionar melhor visualização das feições mapeadas, e foram desenvolvidas mediante testes de avaliação visual dos resultados.

O procedimento metodológico descrito pode ser observado na Figura 13 indicada a seguir.

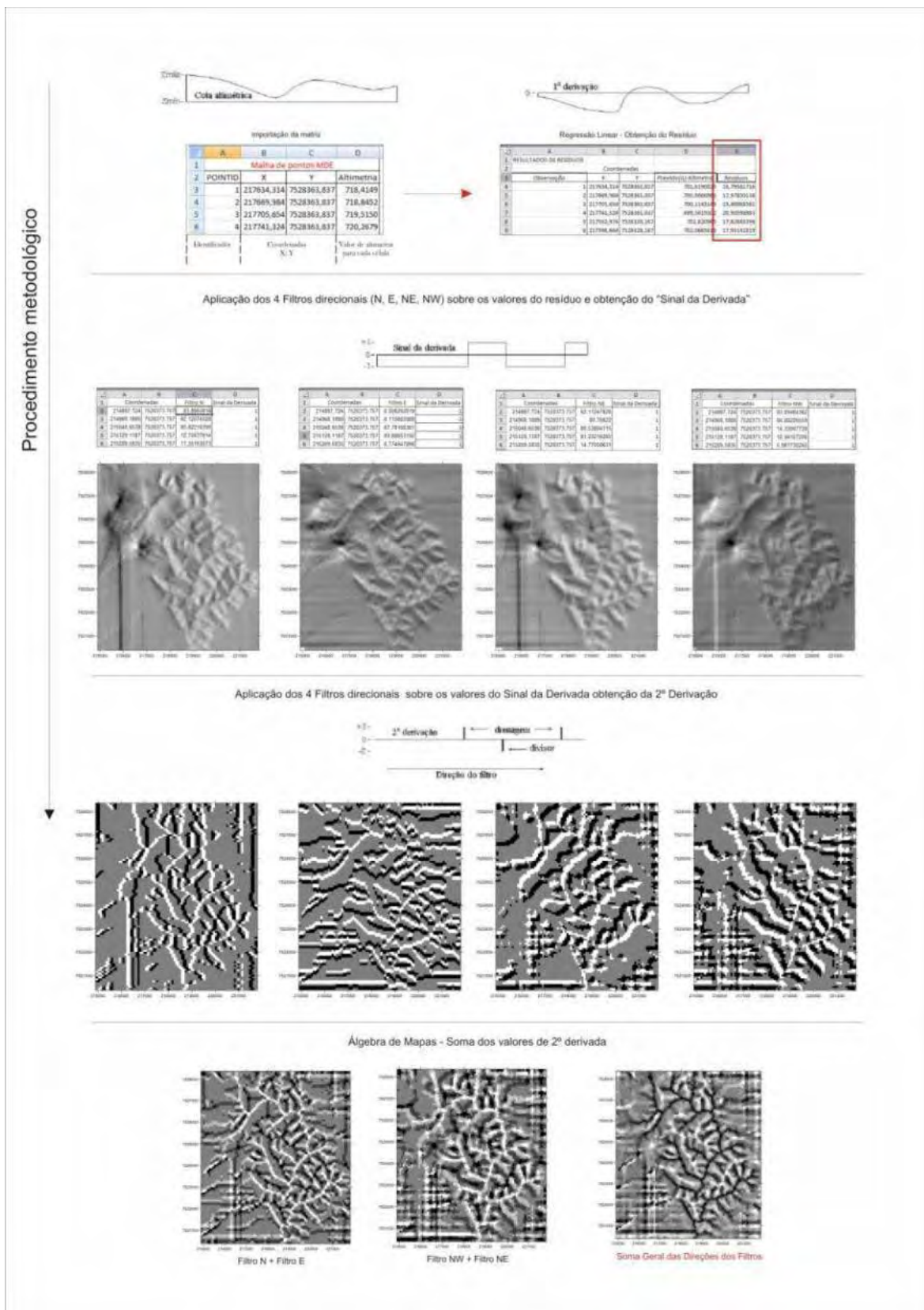


Figura 13: Procedimento metodológico aplicado aos dados de MDE para obtenção dos divisores de água da bacia hidrográfica

5.4.1.2 Identificação das áreas de deposição no nível de base da bacia

Assim como as áreas aplainadas dos divisores foram também delimitadas as áreas onde predominam a dinâmica deposicional, como as várzeas, os leitos maiores, ou mesmo as alças de meandros onde o volume de material depositado é maior que o de material retirado.

Uma vez que estas áreas não podem ser extraídas por produtos de sensoriamento remoto quando na presença de mata-galeria, foi realizado um caminhamento pelo canal principal do ribeirão Monjolo Grande, com GPS de precisão, por toda sua extensão (aproximadamente 10.000 metros)

Em observações de campo, além das áreas de deposição sedimentar; foram também mapeadas soleiras (rupturas no canal); áreas de forte controle estrutural como cotovelos; áreas de confluência, condições de preservação da mata ciliar, uso da terra no entorno, divisões de propriedades rurais e informações gerais de contexto.

5.4.1.3 Determinação da extensão de vertente (L)

Como já mencionado, o cálculo da extensão da vertente foi obtido a partir da proposta de Desmet e Govers (1996), por ser o modelo que pode melhor representar as variações da geometria das vertentes. A proposta de Desmet e Govers (1996) é indicada pela seguinte formulação (equação 5):

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j})^{m+1}}{(D^{m+2}) * (X_{i,j}^m) * (22.13^m)} \quad (5)$$

Em que:

$L_{i,j}$	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
m	Coefficiente Angular que assume os valores:

O mapa da área de contribuição ($A_{i,j-in}$) foi obtido a partir da modelagem hidrológica disponível no SIG ArcGis, representada pelo mapa de fluxo acumulado. Este, por sua vez, é obtido da direção do fluxo, que é derivado do MDE (tabela 5).

Tabela 5: Mapas temáticos envolvidos na aquisição da variável contribuição de área.

Produto	Mapas Temáticos envolvidos	Unidade de medida
$(A_{i,j-in})$	(1-) MDE	Pixel
	(2-) Direção de Fluxo	Pixel
	(3-) Fluxo Acumulado	Pixel

Fonte: modificado de Desmet e Govers (1996)

O valor de $A_{i,j}$ é expresso em m^2 pois representa o produto do mapa de fluxo acumulado pela área do pixel ($4m^2$).

Deve-se chamar atenção à determinação dos valores de “X”, representado pelo mapa de direção de fluxo. Silva (2003) esclarece que a direção se dá para a célula de menor altitude, em relação à célula central. Por observação e análise de referências bibliográficas, notou-se que os SIGs em geral atribuem os valores 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 para cada célula a fim de distinguir as direções, como indicado na figura 14 a seguir:

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

Figura 14: Valores de células para diferenciação das direções geográficas

Observou-se que esses valores devem ser atenuados de modo a diminuir a amplitude entre eles, por exemplo, da direção N (128) para a direção NE (1), para que a direção das células em relação à célula central de menor altitude não seja determinante na medida final da extensão da vertente. No exemplo, as células voltadas para norte seriam maiores do que as vertentes voltadas para nordeste, dado o peso atribuído a elas.

Após a realização de testes, determinou-se empiricamente (sem a comprovação matemática) que substituir os valores descritos a cima por; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 apresentam resultados, em metro, mais coerentes.

Já os valores de m (coeficiente angular), foram obtidos conforme Silva (2003), da seguinte forma (tabela 6):

Tabela 6: Determinação do coeficiente angular (m)

Produto	ETAPAS		
	1 ^a – Mapa de declividade em (%) (s)	2 ^a – reclassificação	3 ^a – definição dos valores de m
m	$s < 1$	1	0,2
	$1 > s < 3$	2	0,3
	$3 > s < 5$	3	0,4
	$s > 5$	4	0,5

Fonte: Silva (2003)

Na sequencia, foi gerado um novo mapa a partir da soma das áreas de restrição (divisor de águas + área de deposição). Este mapa serviu como uma máscara, da qual foram excluídas as áreas de intersecção entre este e cada um dos mapas que compõe a equação (5). Desta forma, obteve-se o resultado de L apenas para as áreas consideradas como vertente. Para realizar a álgebra de mapas prevista, utilizou-se a ferramenta *raster calculator* do módulo *spatial analyst*.

5.4.1.4 Determinação do fator de declividade (S)

Desmet e Govers (1996) comentam que para o cálculo do fator S , pode ser mantida a equação apresentada por Wischmeier e Smith (1978), como (equação 6):

$$S = 0,00654s^2 + 0,0456s + 0,065 \quad (6)$$

5.4.2 Determinação e obtenção dos dados do fator de erodibilidade do solo (K)

Juntamente com o fator topográfico, nesta pesquisa foi dada especial atenção à determinação dos dados de erodibilidade do solo. Como o mapa pedológico disponível para

a área da bacia apresenta escala de publicação de 1:100.000 (Prado e Oliveira, 1981), optou-se por realizar o refinamento dos limites das classes pedológicas por meio de técnicas de sensoriamento remoto e coleta de amostras em campo de modo a compatibilizar as escalas (dentro de padrões determinados pelo tempo de desenvolvimento desta atividade), e assim permitir maior precisão e variabilidade de informações no resultado da estimativa do aporte de sedimentos.

Desta forma, os procedimentos de detalhamento das unidades pedológicas e levantamento dos limites, tiveram quatro etapas bem definidas, como indicado na tabela 7.

Tabela 7: procedimentos técnicos adotados para detalhamento do mapa pedológico

ETAPAS	Procedimentos	Principais materiais utilizados
1 ^a	Descrição do meio físico e definição da legenda do esboço fotopedológico.	Bibliografia; observações de campo; suporte de MNT
2 ^a	Esboço fotopedológico	Produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens orbitais)
3 ^a	Coleta de amostras em campo	GPS; Trado, formulários de campo,
4 ^a	Correção e finalização do esboço fotopedológico	Sistemas de informações Geográficas

A primeira etapa consistiu na análise e descrição detalhada das características do meio físico, principalmente da rede hidrográfica e configuração geomorfológica. Realizou-se análise da bibliografia e dos documentos cartográficos de base, juntamente com as informações dos MNTs, como o mapa de classes de declividade. Nesta etapa foram definidas as possíveis unidades pedológicas que ocorrem na área de estudo, determinando a legenda inicial do esboço fotopedológico com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

A segunda etapa consiste nos procedimentos de fotointerpretação, e elaboração preliminar do esboço fotopedológico. As técnicas para realização desta atividade são largamente difundidas desde a década de 1930, e consistem basicamente no processo de diferenciação e delimitação de unidades com base nos diferentes padrões fisiográficos observados. A metodologia empregada pode ser consultada em Ricci e Petri, 1965; Fiore e Soares, 1976, Oliveira e Brito, 2007.

Assim, a extração dos dados das unidades pedológicas foram obtidas por meio de procedimentos convencionais de fotointerpretação (pares estereoscópicos e elaboração de overlays) com fotografias aéreas verticais apresentadas em níveis de cinza, de escala

aproximada 1:25.000 (23x23cm). As fotografias utilizadas referem-se ao aerolevante realizado no ano de 1962 pela empresa Terra Foto S.A. A figura 15 apresenta a sistematização das fotografias utilizadas.

		9576
9742	9629	9577
9743	9628	9578
9744	9627	9579
	9626	9580

Figura 15: Sistematização das aerofotografias (1:25.000) utilizadas na determinação do esboço fotopedológico. O aerolevante de 1962 possui sentido de vôo em direção N/S, e os números seqüenciais das aerofotografias não são precedidos da Faixa de levantamento

Finalizado o primeiro esboço fotopedológico, estabeleceu-se ainda em laboratório, diversos perfis de topossequência a fim de precisar os limites previamente traçados no overlay. A coleta de amostras de solo em campo seguiu rigorosamente os procedimentos estabelecidos por Embrapa (1996), assim como a realização de análises visuais e de textura durante a coleta, com diversas observações registradas em formulário.

Com as observações e com os registros levantados em campo e esboço fotopedológico atualizado, foi acrescido ao BDG e às informações referente a cobertura pedológica da área de estudo. O procedimento de digitalização e vetorização do overlay foi realizado segundo descrição do item 4.2 para os produtos cartográficos de base e temáticos.

Importante salientar que o mapeamento restringiu-se ao 2ª nível categórico (subordem) definido por Embrapa (1999).

Com a legenda do mapa pedológico definida, foi possível determinar os valores de erodibilidade (K) e tolerância a perda de solos (T), conforme tabelas disponíveis em Donzeli et al. (1992), Mannigel et al. (2002) e Silva (2005), conforme indicado na tabela 8.

Tabela 8: Valores para tolerância de perda (T) e erodibilidade (K) para os solos da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande.

Unidade de solo		Fatores	
		Tolerância (T) (MJ.mm/ha.h)	Erodibilidade (K) (t/ha)
RU	Neossolo Flúvico	-	-
LV	Latossolo Vermelho	14.2	0.0133
RQ	Neossolo Quartzarênico	10.2	0.022
Cx	Cambissolo	3.67	0.035
PV	Argissolo Vermelho	9.1	0.0438
RL	Neossolo Litólico	4.2	0.049

Fonte: Adaptado de Donzeli et al. (1992), Embrapa (1999), Mannigel et al. (2002) e Silva (2005)

Os valores de Tolerância a perda de solo não integram diretamente o cálculo final da MEUPS, contudo, esses valores são posteriormente adotados como limites toleráveis para avaliação dos resultados.

5.4.3 Obtenção dos dados para determinação do fator de uso da terra e cobertura vegetal natural (C)

Para determinação do fator de uso da terra, primeiramente foram indicadas as classes temáticas presentes na área da bacia, como indicado em Anderson et al. (1976), assim como a caracterização fitofisionômica de cada classe a fim de facilitar as análises dos resultados e diminuir a subjetividade no procedimento de fotointerpretação e delimitação dos alvos.

Para caracterização das classes temáticas foram analisadas as características espectrais de atributos dos alvos nas ortofotografias (elaboradas no item 6.2.1), com especial atenção às formas, padrões texturais, cor e arranjo dos elementos. As técnicas de fotointerpretação foram realizadas conforme indicado em Miler e Muller (1961), Avery (1962), Ray, (1963), Ricci e Petri, (1965), Anderson (1979), Lillesand e Kifer (1979). Contudo, apesar de utilizar métodos tradicionais de fotointerpretação, a vetorização dos limites das classes foi realizada diretamente no SIG ENVI 4.6.

A seguir, na Tabela 9, estão indicadas e caracterizadas as classes temáticas definidas para o mapeamento segundo Anderson (1979) e Donzeli et al. (1986).

Tabela 9: Especificações das classes de uso da terra e cobertura vegetal

Classes temáticas 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 à seu porte: estrato superior, intermediário e inferior, variando de 3 a 20 metros de altura. Dentro desta classe também incluiu-se 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 carregadores de pequeno espaçamento. Acompanhadas de solos freqüentemente escuros devido à prática das queimadas, o cultivo da cana de açúcar ganha destaque por ser o principal produto agrícola da região de Piracicaba. De 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 ausente de qualquer formação vegetal, em que se evidencie unicamente a exposição de solo. Inclui-se nessa classe as áreas também aquelas destinadas ao preparo agrícola.

Fonte: Anderson (1979) e Donzeli et al. (1986).

Definidas as classes, foram atribuídos os valores do fator C da MEUPS, conforme indicado em Donzeli et al. (1992), Pinto (1991) e Formaggio et al. (1996) (tabela 10).

Tabela 10: definição dos valores do fator C para cada classe temática

Classes temáticas de uso da terra	Valores do fator C
Área Urbana	0
Mata natural	0,0001
Pastagem	0,005
Silvicultura	0,0158
Pasto degradado	0,03
Cana-de-açúcar	0,05
Solo exposto	1

Fonte: Donzeli et al. (1992) e Formaggio et al. (1996)

Após a classificação de uso da terra e cobertura vegetal sobre as ortofotos de 2006, realizou-se a atualização minuciosa das classes com base em informações coletadas exaustivamente em campo, adquiridas com GPS de precisão e formulários de campo, com redefinição dos limites das classes, quando necessário, por meio de imagem orbital Avinir/Alos do ano de 2009. Assim, os limites e classes de uso da terra considerado nesta pesquisa, apesar de terem como fonte de extração de dados a aerofotografia de 2006, podem ser considerados atualizados para o ano desta pesquisa.

5.4.4 Determinação do fator de práticas conservacionistas (P)

Com o intuito de detalhar os valores das práticas conservacionistas (fator P) de acordo com as condições de relevo presente em cada propriedade rural levantada, optou-se por utilizar o modelo de cálculo dos valores desenvolvido por Wishmeier e Smith (1978) e ajustado por Bertoni e Lombardi Neto (1990) (equação 7).

$$P = 0.69947 - 0.08991 * s + 0.01184 * s^2 - 0.000335 * s^3 \quad (7)$$

Em que:

s = Classes de declividade (%)

As classes de declividade foram definidas segundo as propostas metodológicas de EMBRAPA (1999) e Ramalho Filho e Beek (1995), os quais definiram os intervalos das classes, respectivamente, segundo a ocorrência de unidades pedológicas e segundo o grau de limitação ao desenvolvimento de culturas agrícolas por suscetibilidade à erosão.

Desta forma apresenta-se a seguir a tabela 11 com as classes de declividade, e os valores obtidos para P:

Tabela 11: Definição dos intervalos de classe para os dados de declividade segundo proposta de EMBRAPA (1999) e Ramalho Filho e Beek (1995)

Classes de Declividade (%)	Relevo (EMBRAPA, 1999)	Grau de limitação ao cultivo agrícola (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995)	Valores obtidos para o fator P
0 a 3	Plano	Nulo (N)	0,24
3 a 8	Suave ondulado	Ligeiro (L)	0,27
8 a 13	Ondulado	Moderado (M)	0,51

13 a 20		Forte (F)	0,57
20 a 45	Forte ondulado	Muito Forte (MF)	0,62
45 a 100	Montanhoso	Extremamente forte	0,67
> 100	Escarpado		0,80

Fonte: Embrapa (1999), Minotte (2006), Ramalho Filho e Beek (1995) e Minoti (2006)

Assim, o mapa do fator práticas conservacionistas foi derivado do mapa de classes de declividade por meio da ferramenta *raster calculator* do módulo *spatial analyst*, e introduzindo ao BDG.

Para auxiliar a interpretação dos resultados deste mapa, foi acrescido a este informações qualitativas

5.4.5 Determinação do fator escoamento superficial (runoff)

De acordo com Williams (1975), pode-se determinar o fator Q e qp pela seguinte relação (8):

$$\text{Runoff} = 89,6 * (Q * qp)^{0,56} \quad (8)$$

Estes parâmetros são os últimos a serem obtidos na equação, pois sua aquisição depende, indiretamente, de informações como extensão de vertente, declividade, uso e cobertura da terra, manejo e tipo de solo.

5.4.5.1 Fator (Q)

O volume de escoamento superficial, (Q_{runoff}) foi calculado através do método de abstração (USDA-SCS, 1973), como indicado em Williams (1975), Chaves (1991) e Lombardi Neto et al. (1994), por meio da equação 9.

$$Q_{i,j} = \frac{(Im - 0,2Sa)^2}{(Im + 0,08Sa)} \quad (9)$$

Em que:

$Q_{i,j}$	Volume do escoamento superficial em uma célula com coordenadas (i, j), para um determinado evento chuvoso (mm)
Im	Quantidade máxima do volume de precipitação em 1 hora (mm)
Sa	Parâmetro de retenção da água pelas características de superfície do terreno.

O Parâmetro de retenção (S_a) segundo (Genovez, 1993) varia em função de: (a) relação solo / uso / manejo / declividade; (b) com o tempo, em função do conteúdo de água no solo. Desta forma, este parâmetro é derivado do índice número da curva (CN) desenvolvido pelo USDA-SCS (*Soil Conservation Service, 1972*), em que seus valores variam de 0 a 100, correspondendo respectivamente de uma cobertura permeável, até uma cobertura totalmente impermeável.

Assim, apresentam-se a seguir o cálculo para determinação dos valores de S_a (10), e a tabela 12 com os índices de CN, que relacionam as classes de solo obtidas para a área da bacia, com as classes de uso da terra e cobertura vegetal extraídas. Os valores foram obtidos para cada pixel.

$$S_a = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (10)$$

Tabela 12: Valores de Curva Número que expressam a relação entre Solo/Use e cobertura da Terra/manejo e condições de infiltração da água no solo.

Unidades pedológicas presente na bacia do ribeirão Monjolo Grande (Grupo Hidrológico)				
CLASSES DE USO DA TERRA	RQ / Depósitos Arenosos (A)	LV (B)	PV (D)	Rl e Cx (E)
Cana-de-açúcar	50	60	75	83
Pastagem	59	67	81	86
Pastagem degradada	60	66	82	87
Mata Natural	18	25	58	70
Silvicultura	25	36	64	75
Solo Exposto	25	80	92	95
Área urbana	100	100	100	100

Valores de CN extraídos de Setzer e Porto (1979) e Lombardi Neto et al. (1989). As letras (A); (B); (C), (D) e (E), representam os grupamentos hidrológicos dos solos, divididos segundo propriedades físicas e suas taxas de infiltração.

Já a Intensidade Média de Precipitação (I_m), segundo Genovez (1993), é considerada a máxima média observada num intervalo de tempo de recorrência, obtida pela seguinte equação (11).

$$I_m = \frac{K*(T)^a}{(t+b)^b} \quad (11)$$

Em que:

T = Período de retorno, em anos

t = Duração da precipitação, (min)

K, a, b, c = parâmetros relativos a localidade, conhecidos como parâmetros da equação Intensidade, Duração e Frequência da precipitação.

Os parâmetros descritos a cima foram obtidos para o município de Ipeúna-SP, por meio do Software Pluvio 2.1 (GPRH, 2005), e apresentados na tabela 13;

Tabela 13: Valores regionais dos índices de precipitação obtidos para o município de Ipeúna – SP.

Parâmetros equação intensidade, duração e frequência da precipitação	
K	2086,465
a	0,153
b	24,711
c	0,085

Fonte: Pluvio 2.1 (2005)

O tempo de retorno considerado para a determinação do Im da bacia hidrográfica foi de 30 anos. Este valor é opcionalmente obtido, pois pode ser representado por qualquer quantidade de chuva (mm) que o pesquisador opte em modelar. Contudo, decidiu-se primeiramente utilizar como referência uma estimativa do máximo de chuva para a área da bacia.

De posse dos valores e índices apresentados, obtiveram-se os seguintes mapas (tabela 14):

Tabela 14: relação de mapas temáticos elaborados para a obtenção do mapa de escoamento superficial (Q)

Produto	Mapas Temáticos envolvidos	Unidade de medida
(Q _{i,j})	(1-) CN	-
	(2-) Sa	-
	(3-) Im	mm

5.4.5.2 Fator (qp)

A vazão pico (qp) representa a vazão máxima que ocorre com um dado evento de chuva. Configura-se como um indicador da força erosiva das chuvas intensas e é usada no cálculo da perda de sedimentos (GENOVEZ, 1993), e foi elaborada pelo USDA-SCS (1973) com a seguinte formulação (12):

$$q_p = 0,0028 * A * \frac{Q}{T_c} \quad (12)$$

Em que:

qp _{i,j}	Vazão Pico derivada de um hidrograma triangular hipotético, (m ³ /s)
Q	Volume do escoamento Superficial (mm)
A	Área da bacia hidrográfica (ha) - (considerou-se a área do pixel)
Tc	Tempo de concentração da bacia (hr)

A determinação do Tc pode ser obtida, segundo Genovez (1993) pela seguinte equação (13):

$$T_c = \frac{L^{0,8} * (\frac{1000}{CN} - 9)^{0,7}}{1900 * S} \quad (13)$$

Em que

Tc _{i,j}	Tempo de concentração da bacia (hr)
L _{i,j}	Extensão de vertente (m)
CN	Valores do índice Numero da Curva
S	Grau de Declividade (%)

Aquino (2008) indica que o tempo de concentração representa o tempo que a água precipitada na parte superior de cada pixel levará para chegar à saída deste mesmo pixel e começar a contribuir para o pixel seguinte.

5.5 Segmento de integração e análise da síntese de dados

Como descrito anteriormente, o segundo segmento desta pesquisa foi conduzido pela abordagem holística, e caracteriza-se pela integração dos dados obtidos conforme a lógica determinada pelos termos da MEUPS, e interpretados à luz da teoria sistêmica. Para

verificação da hipótese inicial desta pesquisa, foi dada especial atenção a elaboração dos seguintes mapas temáticos de síntese:

- Potencial Natural de Erosão (PNE). Expresso por Bertoni e Lombardi Neto (1985); IPT (1986); Pinto (1991) e Donzeli et al. (1992) como (equação 15) :

$$PNE = (\text{Runoff}) * K * (\text{LS}) \quad (15)$$

Os intervalos de classe para os valores de PNE foram estabelecidos em função dos valores de tolerância a perda de solo (T), como realizado em IPT (1986). Contudo, como os valores de T indicam uma estimativa anual tolerável de perda para cada tipo de solo, optou-se em dividi-los pelo período de um ano (365 dias), obtendo assim as estimativas de tolerância para um período de 24h, a fim de compatibilizar com os valores do PNE (MEUPS).

Desta forma, os valores considerados para o fator T foram rerepresentados para T_{dia} , como indicado na tabela 16. Assim, a partir do mapa de solos, foi estabelecido o mapa de $A_{\text{tolerável}}$, como denominado por IPT (1986).

Tabela 15: Valores de T_{dia} associado ao mapa de solos

Unidade de solo		Fatores	
		Tolerância (T) (MJ.mm/ha/ano)	Tolerância (T_{dia}) (Mj.mm/ha/dia)
RU	Neossolo Flúvico	-	-
Cx	Cambissolo	3.67	0.010
RL	Neossolo Litólico	4.2	0.011
PV	Argissolo Vermelho	9.1	0.025
RQ	Neossolo Quartzarênico	10.2	0.028
LV	Latossolo Vermelho	14.2	0.039

Fonte: Valores de T obtidos de Donzeli et al. (1992), Embrapa (1999), Mannigel et al. (2002) e Silva (2005).

Na seqüência, foi avaliada a influência dos condicionantes antrópicos (fatores C e P) sobre o PNE, obtendo assim os valores estimados do aporte de sedimento, segundo condições de cenários previamente estabelecidas. Obteve-se assim o mapa de Predisposição

ao Risco de Erosão¹⁴ (PRE), indicado por IPT (1986), Pinto (1991) e Machado (2005) da seguinte forma (equação 16):

$$PRE (Y_{meups}) = PNE * C * P \quad (16)$$

Contudo, para determinar as áreas em que os valores de perda de solo apresentam-se intensificados devido ao uso e manejo da terra, é preciso primeiramente estabelecer um parâmetro de ocupação ideal máxima da terra, sendo este representado pelo índice denominado de $CP_{Tolerável}$ (IPT, 1986; e DONZELI et al. (1992) (equação 17).

$$CP_{Tolerável} = \frac{T_{dia}}{PNE} \quad (17)$$

Desta forma, os valores de $CP_{Tolerável}$ foram determinados em função de cada tipo de solo (considerando seus limites de tolerância de perdas), e levando em consideração os fatores do meio físico representados pelo PNE.

De posse dos valores de PRE, e tendo por base o parâmetro ideal de ocupação da terra determinado pelo $CP_{Tolerável}$, pode-se determinar as áreas que apresentam suscetibilidade a erosão em função do uso que a terra vem sendo submetida, definindo assim o mapa de Expectativa a Erosão Laminar, determinado em função da discrepância entre o PRE e o $CP_{Tolerável}$ (equação 18):

$$\text{Expectativa de Erosão} = PRE - CP_{Tolerável} \quad (18)$$

Desta forma, com base na observação da distribuição espacial dos valores de aporte de sedimento para área da bacia, e assumindo os valores do PNE e $CP_{Tolerável}$ como os parâmetros mais próximos da realidade, as propriedades rurais foram analisadas individualmente, com especial atenção àquelas que apresentaram os maiores e menores valor de fornecimento de material sedimentar.

¹⁴ IPT (1986) e Donzeli et al.(1992) atribuem o nome de “CP_atual”; no entanto, adotou-se a nomenclatura utilizada por Oliveira (2005), por entender que o termo “predisposição ao risco de erosão”, em termos de comunicação cartográfica, são mais fidedignos às informações que estão sendo apresentadas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante os procedimentos metodológicos descritos, serão apresentados a seguir os produtos cartográficos assim como as análises conduzidas pela abordagem sistêmica.

Para cumprir com os objetivos propostos e confrontar a hipótese inicial deste trabalho, o presente capítulo apresenta primeiramente os dados que compõe a base cartográfica (Malha fundiária, base planialtimétrica e mapa pedológico), posteriormente, analisa os fatores contemplados pela modelagem da MEUPS, indicando as condições de predisposição ao risco de erosão para a área da bacia hidrográfica, e mais especificamente as análises de perda de solo por propriedade rural.

6.1 Base cartográfica

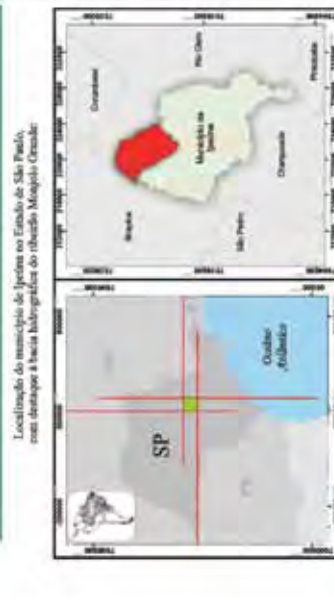
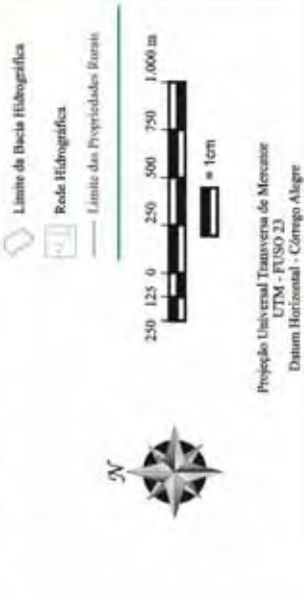
6.1.1 Mapeamento da malha fundiária, e considerações sobre as propriedades rurais

Conforme mapeamento dos limites das propriedades descrito anteriormente, apresenta-se na figura 16 o mapa da malha fundiária da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande (considerando as poligonais e confrontantes referentes ao ano de 2007/08), sobreposto à ortofotografia do ano de 2006.

Ao todo, foram mapeadas 49 propriedades rurais (49 UPA) conforme indicado na tabela 16. Cada propriedade foi indexada (ID) no BDG segundo cadastro (código) do Projeto LUPA.

Malha Fundiária Da Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Monjolo Grande

Propriedade	Área (m²)	Área (ha)	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Área (m²)	Área (ha)
1	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
2	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
3	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00 <td>1,50</td>	1,50
4	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
5	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
6	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
7	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
8	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
9	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
10	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
11	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
12	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
13	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
14	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
15	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
16	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
17	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
18	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
19	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
20	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
21	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
22	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
23	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
24	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
25	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
26	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
27	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
28	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
29	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
30	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
31	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
32	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
33	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
34	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
35	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
36	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
37	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
38	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
39	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
40	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
41	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
42	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
43	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
44	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
45	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
46	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50
47	15.00000	1,50	752.000,00	218.000,00	15.000,00	1,50






Apoio: **FAPESP**
 Autores: **Luiz Henrique Pereira**
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

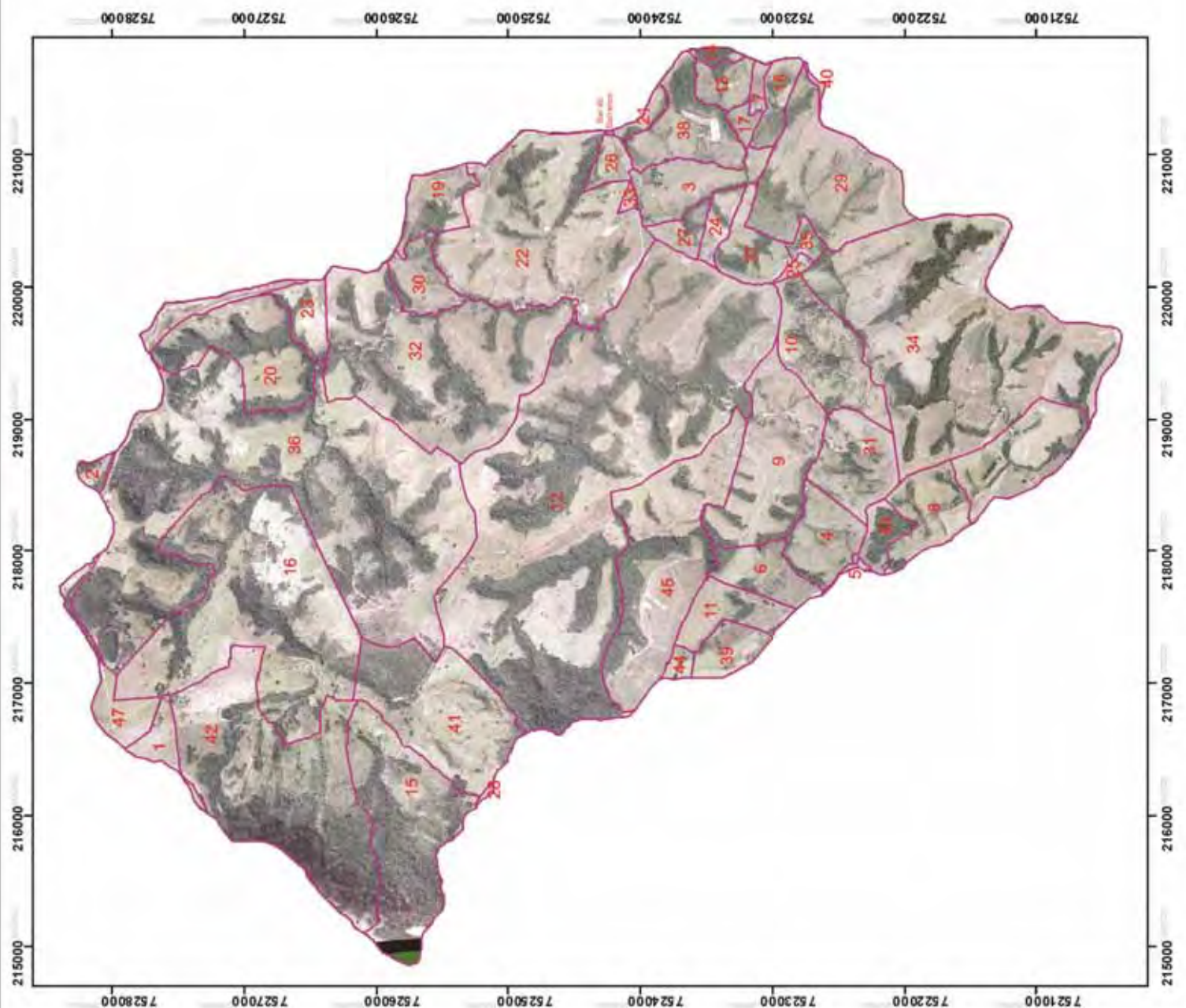


Figura 16: mapa da malha fundiária

Tabela 16: Propriedades rurais mapeadas para a bacia do ribeirão Monjolo Grande e respectivas áreas (ha)

ID	Código LUPA	Área (ha)	ID	Código LUPA	Área (ha)	ID	Código LUPA	Área (ha)
1	241 - 00470	12,40	19	241 - 00230	22,67	37	241 - 00288	21,83
2	241 - 00470	4,89	20	241 - 00235	16,21	38	241 - 00289	40,19
3	241 - 00014	31,85	21	241 - 00242	5,93	39	241 - 00323	17,16
4	241 - 00016	30,60	22	241 - 00263	160,70	40	241 - 00349	1,27
5	241 - 00036	24,67	23	241 - 00265	12,74	41	241 - 00364	88,52
6	241 - 00052	4,34	24	241 - 00266	10,55	42	241 - 00366	168,97
7	241 - 00075	47,16	25	241 - 00267	2,82	43	241 - 00445	13,17
8	241 - 00075	31,40	26	241 - 00268	9,24	44	241 - 00446	4,47
9	241 - 00095	77,98	27	241 - 00269	10,26	45	241 - 00447	114,51
10	241 - 00097	51,73	28	241 - 00275	0,82	46	241 - 00455	61,78
11	241 - 00114	24,30	29	241 - 00278	88,41	47	241 - 00470	21,22
12	241 - 00169	456,17	30	241 - 00280	20,86	48	241 - 00027	1,12
13	241 - 00180	14,06	31	241 - 00281	38,61	49	Bar do Barranco	0,21
14	241 - 00181	3,73	32	241 - 00282	171,14			
15	241 - 00201	99,69	33	241 - 00283	1,87			
16	241 - 00207	200,12	34	241 - 00285	253,98			
17	241 - 00213	5,10	35	241 - 00286	5,38			
18	241 - 00218	14,08	36	241 - 00287	366,33			

No cadastro realizado pelo projeto LUPA, os três primeiros dígitos identificam o município ao qual pertence, no caso, “241” refere-se a Ipeúna (SP). Os dígitos que seguem identificam a propriedade, e são sequenciais por ordem de entrevista, e não indicam propriedades confrontantes (contigüidade espacial).

Pode-se observar nas figuras 16 e 17 que, em sua maioria, a bacia é composta por pequenas propriedades, principalmente ao sul e próxima aos divisores, os quais coincidem com as principais estradas vicinais. Em média, as propriedades apresentam áreas de 59,00ha, e apenas 13 encontram-se acima desta média (241-455; 095; 278; 364; 201; 447; 263; 366; 282; 207; 285; 287 e 169), que no entanto, representam 72% da área da bacia.

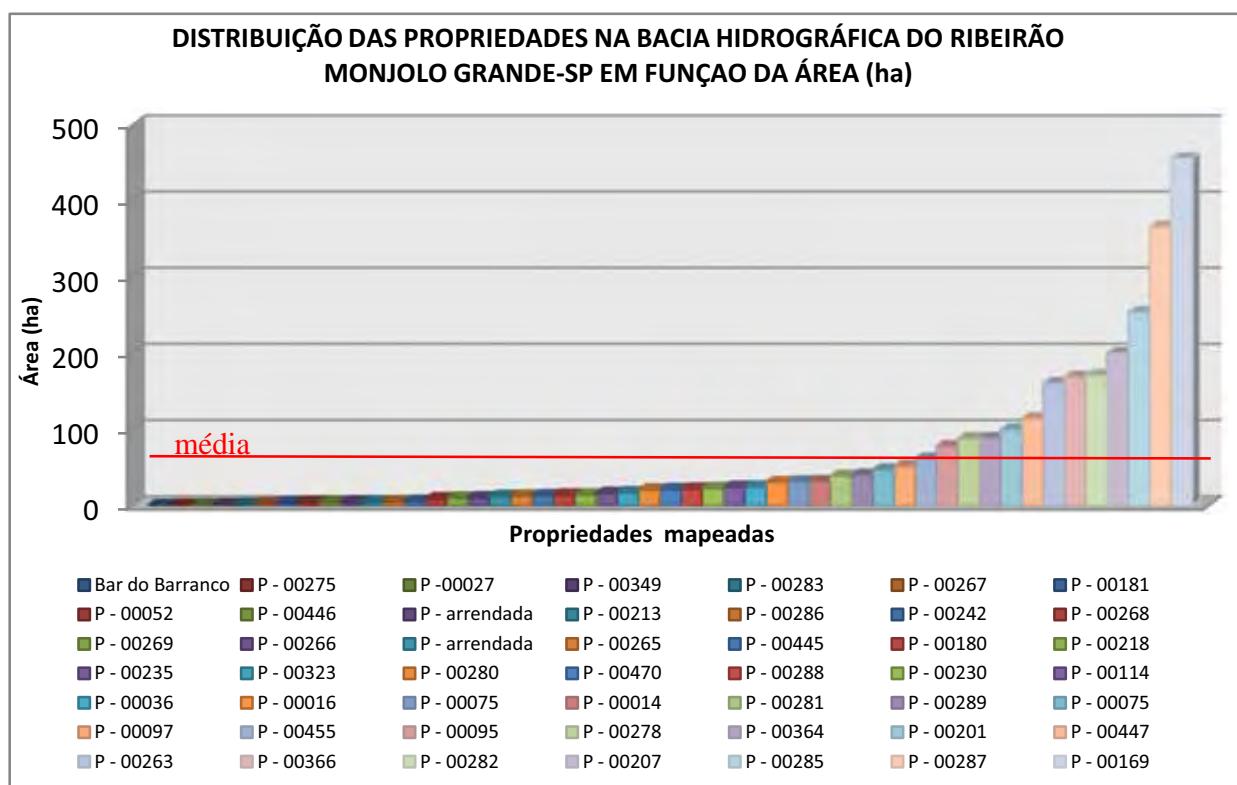


Figura 17: Distribuição das propriedades rurais da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande em função de sua área

O grupo das maiores propriedades tem em comum a pecuária como principal atividade econômica, e detêm 56% do total do rebanho legalmente registrado (a bacia apresenta um total de 2.542 cabeças de gado registradas).

Apenas as propriedades 241-285, 207 e 366 obtêm mais de 70% da renda familiar proveniente da agropecuária exercida em sua área. Este é um dado relevante observado para a bacia, pois considerando toda atividade exercida na bacia, apenas 6% das propriedades são utilizadas como meio significativo de fonte de renda (acima de 70%) aos proprietários, como indicado na tabela 17.

Tabela 17: Participação da agropecuária na renda familiar

Participação da agropecuária na renda familiar	Qtd propriedades		Área ocupada na bacia		Propriedades
	Qtd	%	ha	%	
0	12	24,49	278,04	9,63	241-00349; 283; 201; 265; 95; 201
Até 1%	5	10,20	58,87	2,03	241-00446; 472; 445; 218; 470

Até 5%	4	8,16	434,33	15,04	241- 27; 213; 245; 287
Até 10%	8	16,33	698,15	24,18	241- 286; 180; 280; 114; 289; 447; 169
Até 20%	6	12,24	522,76	18,10	241- 181; 269; 278; 364; 263; 282
Até 50%	8	16,33	179,60	6,22	241-266; 52; 232; 288; 36; 16; 14; 281
Até 70%	2	4,08	369,09	12,78	241 – 366; 207
Até 90%	2	4,08	83,13	2,87	241 –75; 97
100%	2	4,08	263,22	9,11	241 –268; 285
	49	100	2887,19	100	

Fonte: Dados primários obtidos do projeto LUPA

Estes dados são relevantes no sentido que podem indicar a influência antrópica sobre o meio físico na área da bacia. Partindo da idéia de que quanto maior a contribuição na renda familiar maior é a pressão exercida sobre os recursos (em especial, solo, água e vegetação) pode-se afirmar em uma primeira análise que 24,77% (70, 90 e 100% de contribuição na renda) da área da bacia destina-se a atividade agropecuária de forma intensiva.

Importante salientar que considera-se 70% como porcentagem indicativa de uso intensivo da terra, porque este representa o limite mínimo de participação na renda familiar para que o proprietário rural tenha direito a benefícios públicos como assistência financeira, redução de impostos na compra de maquinários, assistência técnica entre outros.

Alguns dados socioeconômicos das propriedades obtidos pelo projeto LUPA foram especializados, e apresentados na figura 18. Apresentam-se os dados de Renda familiar; Distribuição do rebanho bovino; Propriedades que utilizam conservação de solo; Número de trabalhadores com emprego temporário; Nível de instrução dos proprietários e Áreas com terras arrendadas. Estes dados contribuem para a compreensão do contexto da bacia.

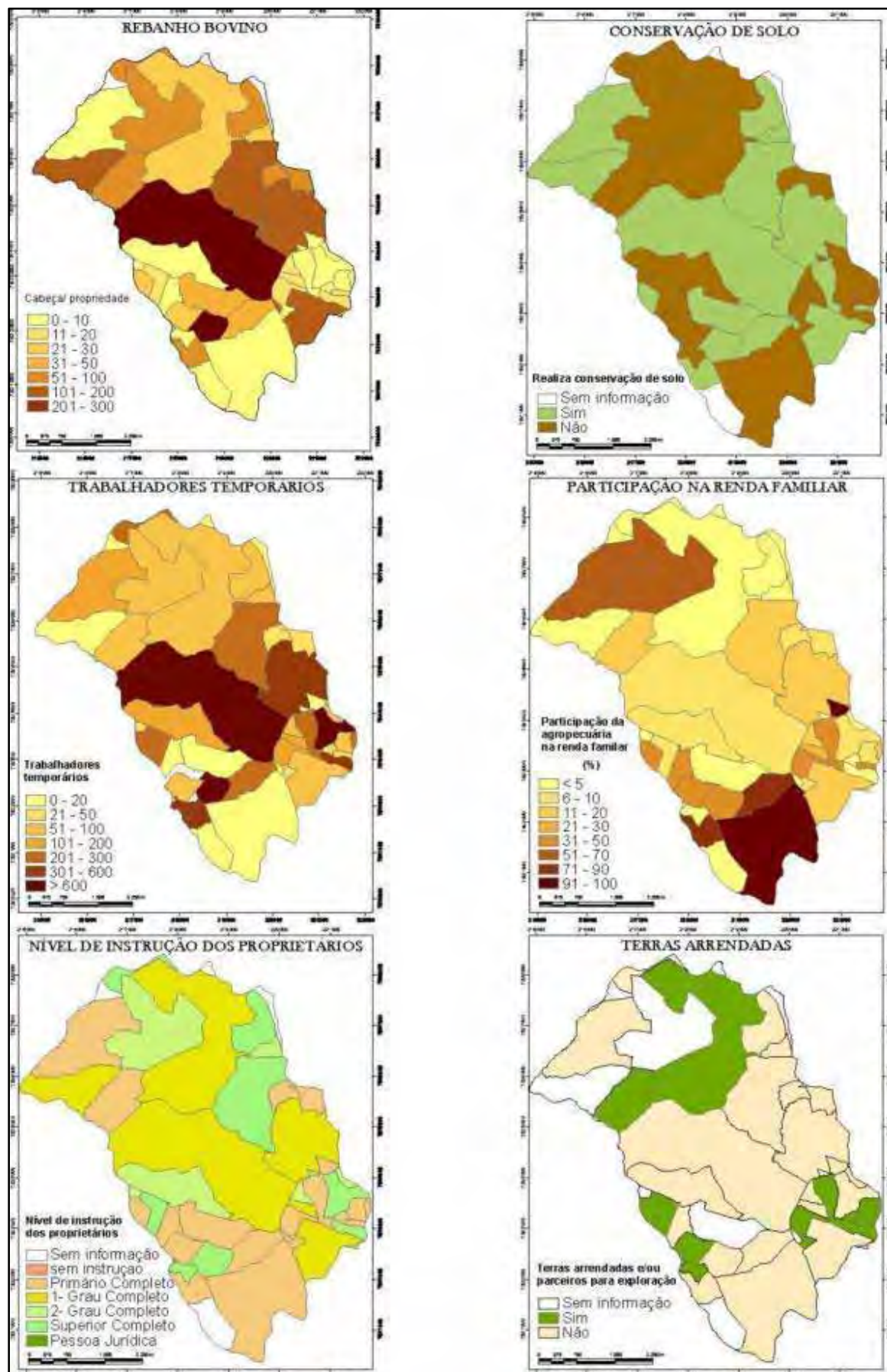


Figura 18: Espacialização de informações socioeconômicas das propriedades rurais

6.1.2 Refinamento do mapa pedológico

A elaboração de MNT, principalmente o mapa de classes de hipsometria e classes de declividade, configuraram-se em importante subsídio à elaboração do esboço fotopedológico, sendo determinantes para a delimitação das áreas de quebra de relevo e indicação dos possíveis limites entre as unidades de mapeamento pedológico.

Estas informações, conjugados à análise da paisagem, principalmente a observação da rede de drenagem, permitiram diversas inferências sobre a distribuição espacial dos solos na área de estudo. O emprego das ortofotos coloridas associadas aos produtos mencionados e à carta de solos disponíveis, forneceram as informações necessárias para a determinação da legenda de mapeamento pedológico adotada.

A seguir, apresentam-se uma pequena descrição da rede de drenagem (figura 19 e 20), dos MNT (figuras 21 e 22) e as principais observações realizadas para a elaboração do mapa pedológico (figura 23) da área da bacia.

Segundo o método proposto por Strahler (1952), o ribeirão Monjolo-Grande apresenta-se como um canal de 4º ordem (figura 19), o que Oliveira e Brito (2007) indicam retratar fortemente a estrutura geológica da área.

No entanto, para destacar suas características pedológicas, apoiou-se na classificação de Horton (1945), que considera o padrão geométrico dos rios (Figura 20). Desta forma, pode-se afirmar que a bacia apresenta padrão dendrítico, típico dos afluentes originados nos sedimentos argilosos do grupo Passa Dois (representado na área pela Formação Corumbataí) presentes nas regiões próximas às Serras de Itaqueri e São Pedro, como já indicado por Penteado (1968).

Mais especificamente, considerando a classificação genética dos rios realizada por Horton (1945), pode-se enquadrar o ribeirão Monjolo-Grande como um rio Subsequente, pois seu fluxo de direção N - S possui sentido perpendicular à inclinação das camadas rochosas, acompanhando na maioria das vezes as zonas de fraqueza. Esta característica permite inferir que as áreas de planície aluviais são praticamente inexpressivas ao longo do canal principal, uma vez que em setores encaixados há menos áreas de deposição de matéria sedimentar.



Figura 19: Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do ribeirão Monjolo-Grande segundo a ordem hierárquica dos canais (STRAHLER, 1952).

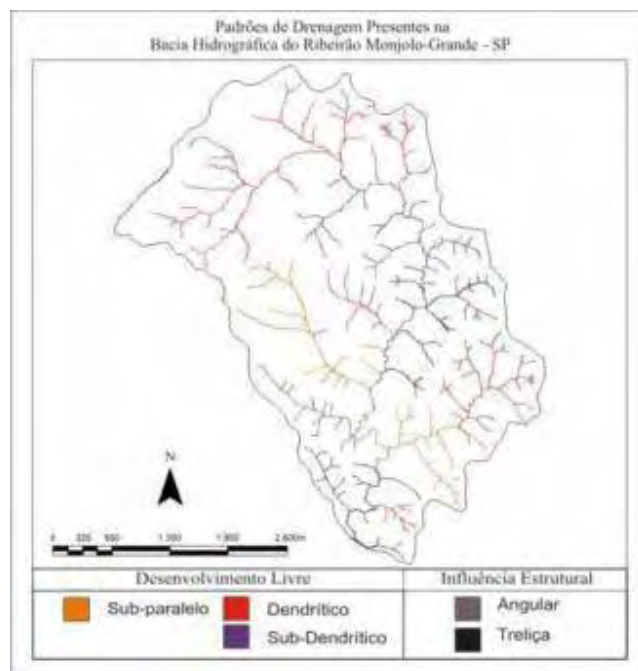


Figura 20: Diferentes Padrões de Drenagem segundo a classificação de Fiori e Soares (1972)

Observa-se que os afluentes obsequentes do ribeirão Monjolo Grande apresentam características diferenciadas entre sua margem ocidental e oriental. Os afluentes da margem direita, próximos às Cuestas, apresentam canais mais alongados e extensos interflúvios, nos quais se desenvolveram os Neossolos Quartzarêncos (RQ) profundos. De modo geral, apresentam padrão paralelo, com confluência do tipo subangular entre os canais de 1º e 2º ordem. Já os afluentes da margem esquerda do canal, são curtos com padrões de sub-dendríticos a paralelos, indicando relevos mais movimentados que originam os Argissolos da Formação Pirambóia e Corumbataí.

Ao longo da área, observa-se também alta densidade de drenagem, assim como diversos padrões, caracterizando-se numa bacia com baixo grau de uniformidade, indicando a variabilidade de unidade pedológica existente. Como mencionado, pode-se observar a presença de áreas relacionadas tanto a zonas de erosão com desenvolvimento livre (padrões dendrítico, sub-dendrítico e sub-paralelo, predominante ao norte da bacia), como aqueles relacionados à influência tectônica (treliça e retangular, predominante à margem direita, ao sul).

Estes padrões são bem definidos na paisagem e podem ser facilmente destacados, como indicado no cartograma da figura 21:

Os afluentes com alto grau de controle estrutural (com ângulos de confluência do tipo “reto”) estão ligados àquelas áreas do canal principal que apresentam forte inflexão (centro e baixo Monjolo-Grande), caracterizadas por cotovelo de sentido W-E. Em campo, observou-se que nessas áreas há predominância de Neossolos, com embasamento sedimentar exposto às margens do rio.

O alto grau de integração¹⁵ entre os canais ao longo da bacia indica a ausência de solos hidromórficos ou aluviais, uma vez que não há áreas planas (planícies aluviais, terraços de inundação ou várzeas) que favoreçam tais processos pedogenéticos. Contudo, as áreas de deposição de material sedimentar, caracterizadas por profundos depósitos de areia, são expostas na época de vazante do rio, como foi observado e mapeado nos meses de junho e julho.

As observações da rede de drenagem aliadas a análise da distribuição das classes de declividade (figura 21) reforçaram os indicativos da predominância de solos com Bt (aproximadamente 40% da área apresenta declividade entre 8 e 20%) e horizontes incipientes como Neossolos câmbicos e Litólicos, pois 39% da área apresenta relevo entre 20 e 40% de declividade..

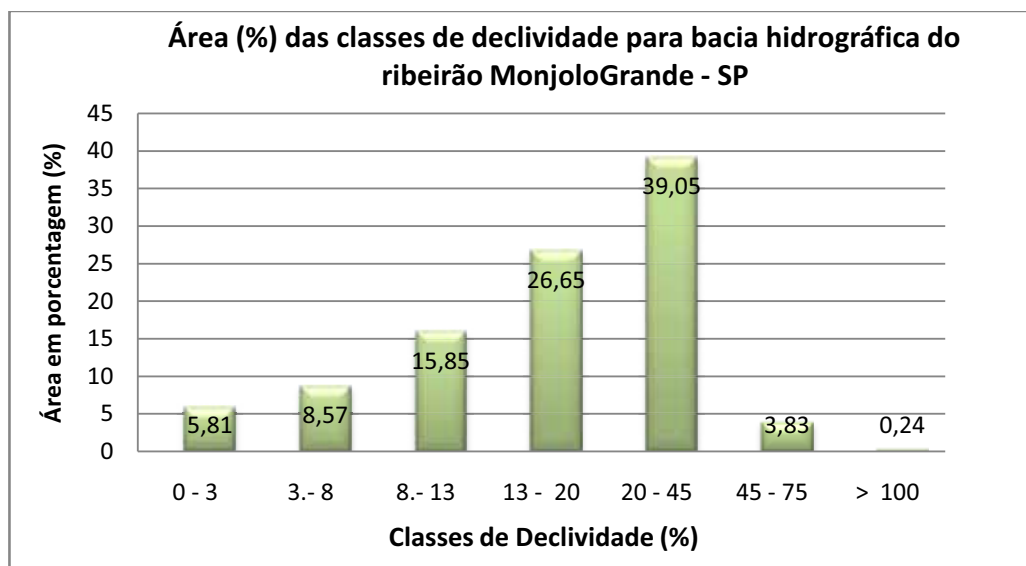


Figura 21: Distribuição das classes de declividade

¹⁵ Segundo Soares e Fiori (1976), Grau de integração refere-se ao caminhamento dos canais entre dois pontos, ou seja, quanto mais curta essa distância, maior é a integração.

A análise do MDE (Figura 22) e do mapa das classes de declividade (Figura 23) indicam que as áreas adjacentes ao canal do ribeirão Monjolo-Grande apresentam predominância entre as altitudes 620 e 630 metros, e inserem-se na classe de relevo fortemente ondulado, com declives entre 20 e 45% (39% da área da bacia), apresentando um nível de limitação ao cultivo agrícola “muito forte”. Observa-se em campo que estas áreas estão fortemente vinculadas a atividades pastoris, com intensificação dos processos erosivos em virtude, principalmente, do pisoteamento de gado.

Nestas áreas, observou-se também a partir da análise de perfis e coleta de amostras com tradagens, a presença de Argissolos e Cambissolos.

As áreas localizadas entre 660 e 790m predominam no setor Norte/Noroeste da bacia, à margem direita do ribeirão Monjolo-Grande, com presença de divisores de água mais extensos e interflúvios suaves, dissecados por drenagens alongadas e retilíneas, indicando boa permeabilidade do solo. As áreas de topo configuram-se em relevos planos a suave-ondulados (declives de 0 a 3% e 3 a 8% respectivamente, representando 15% da área), onde há presença de culturas como cana-de-açúcar. Nestas áreas, associam-se solos profundos como Latossolos Vermelho e Neossolo Quartzarênico.

Ainda neste setor, despontam na paisagem os maciços residuais denominados de morro do Bizigueli e Guarita, que em seus acentuados declives (acima de 45%, e em algumas faces declividades superiores a 100%) apresentam os solos Neossolos Litólicos das formações Botucatu e Serra Geral, e em menor ocorrência, algumas áreas apresentam horizonte B incipiente característico dos Cambissolos.

Já o setor oposto (Sul/Sudeste), à margem esquerda do ribeirão Monjolo Grande, apresenta divisores estreitos, com interflúvios abruptos e canais de drenagem mais curtos, com predominância de declives entre 13 e 20% (26,7% da área), de relevo ondulado, com grau de limitação ao cultivo agrícola situado entre “Moderado” à “Forte”. Nestas áreas, apresentam-se Argissolos e Cambissolos.

Diante as descrições expostas, de forma sinótica, apresenta-se na figura 24 a um perfil topográfico representativo da área, de secção NNO – SSE, e, em seguida, o mapa pedológico.

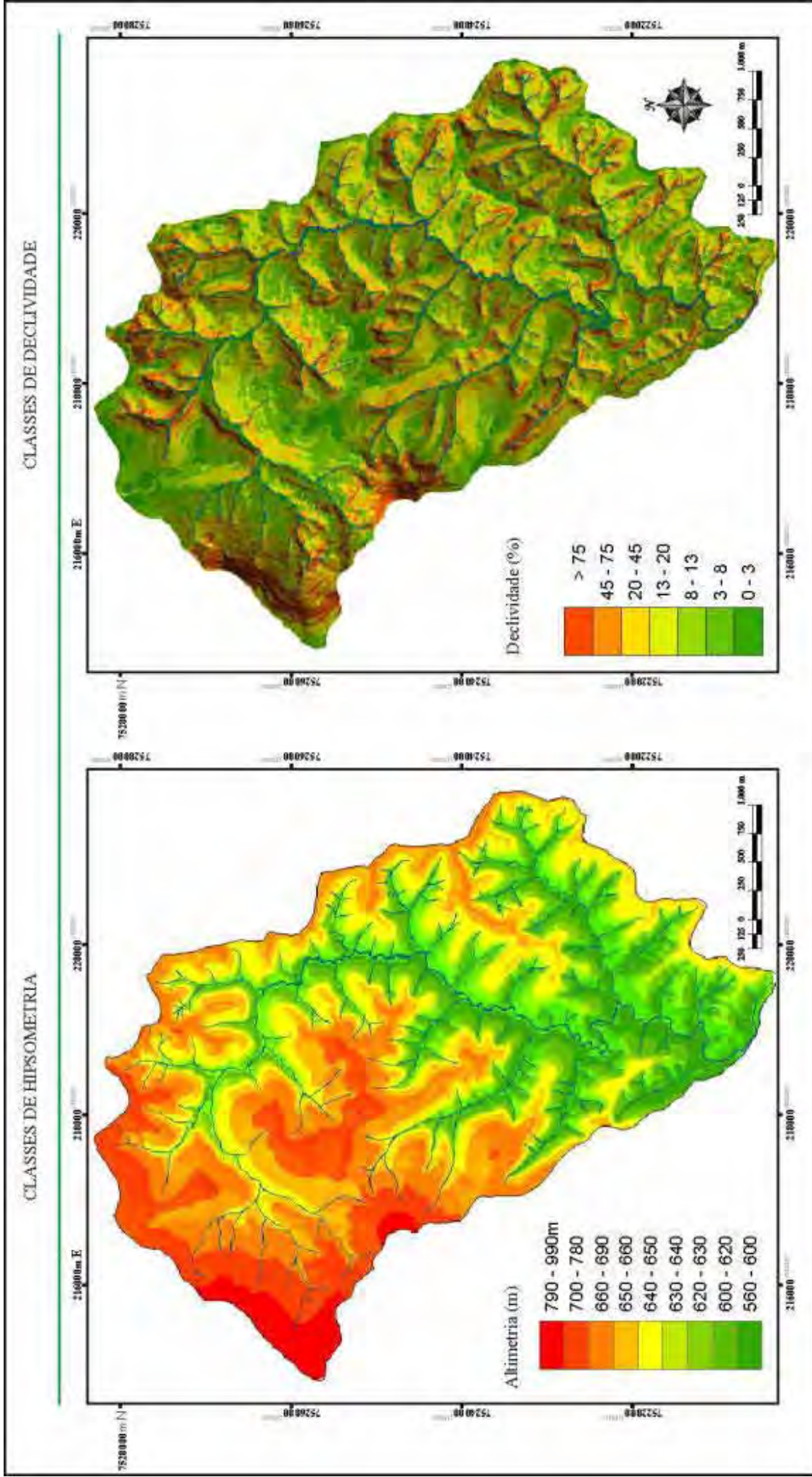


Figura 22: Mapa de classes de hipsometria

Figura 23: mapa de classes de declividade

Quadro sinótico do meio físico da área da
bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo-Grande (SP)

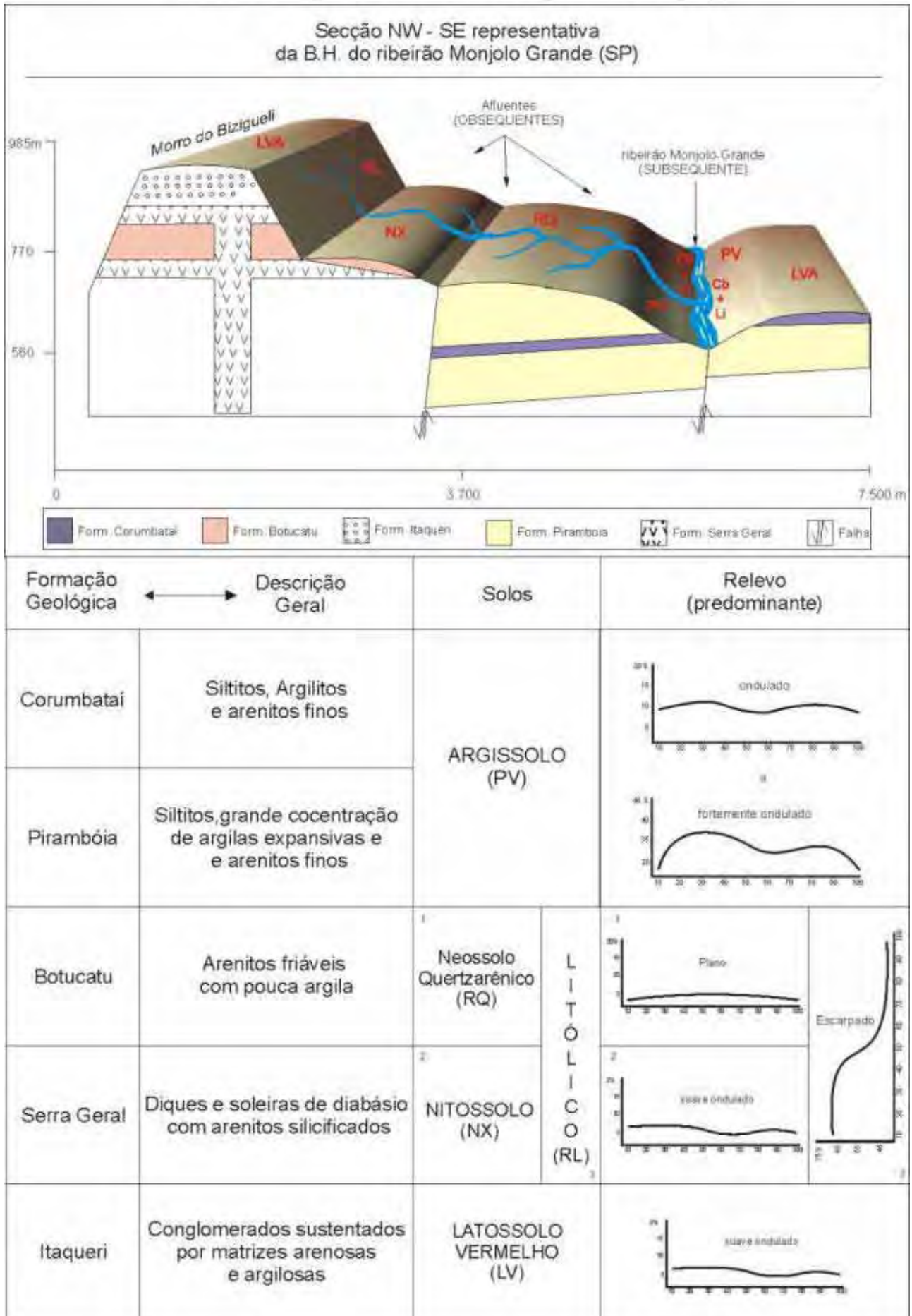


Figura 24: Seção topográfica (NW - SE) representativa para área de estudo

MAPA PEDOLÓGICO

Unidades Pedológicas

- Cx - Cambissolos
- LV - Latossolo Vermelho Amarelo
- PV - Argissolo Vermelho
- RL - Neossolo Litólico
- RQ - Neossolo Quartzarênico
- RU - Neossolos Fluviocls e Áreas de Deposição

Base Cartográfica

Coordenada de São Carlos (E:100.000)
Folha SF-23-Y-A-1
(PRADO e OLIVEIRA, 1981)

Limite da Bacia Hidrográfica



Rede Hidrográfica



250 125 0 250 500 750 1.000 m

1 cm

Projeção Universal Transversa de Mercator
UTM - FUSO 23
Datum Horizontal - Córrego Alegre

Localização do município de Ipeúna no Estado de São Paulo, com destaque à bacia hidrográfica do rio São João Grande



Apoio:



Autores
Luiz Henrique Pereira
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

2010

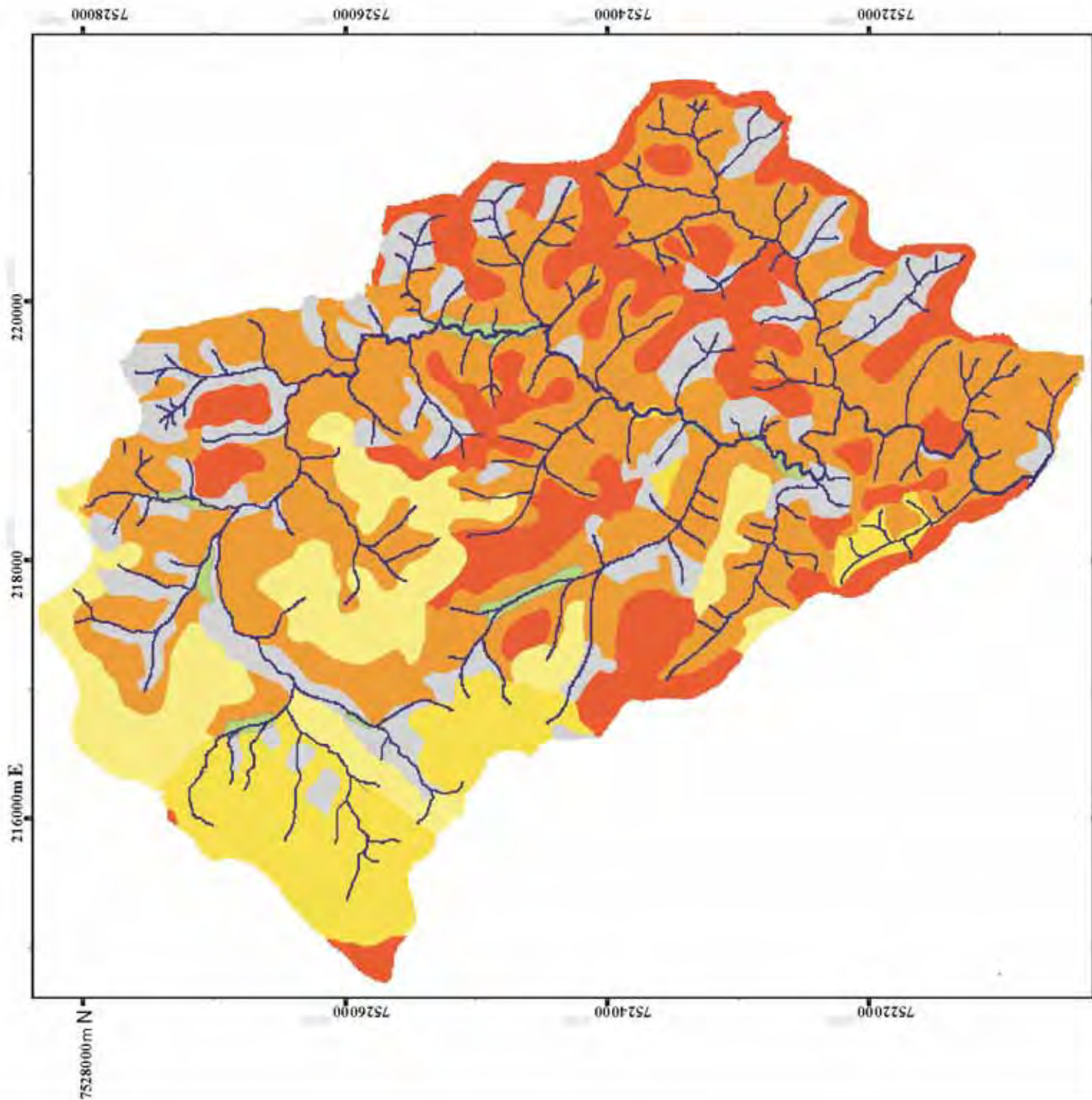


Figura 25: Refinamento do mapa pedológico

Após o refinamento do mapa pedológico, foi possível observar com maior precisão a distribuição da cobertura pedológica para área da bacia, permitindo que as propriedades fossem analisadas com maior detalhe em termos de meio físico, além de enriquecer os dados do BDG. Apresenta-se na tabela 18 as áreas aproximadas de cada unidade pedológica.

Tabela 18: distribuição da cobertura pedológica para área da bacia

Unidade Pedológica		Área	
		ha	%
Argissolo Vermelho	PV	1224,34	42,73
Latossolo Vermelho Amarelo	LV	534,88	18,67
Cambissolos	Cx	433,57	15,13
Neossolo Quartzarênico	RQ	339,73	11,85
Neossolo Litólico	RL	291,26	10,16
Neossolos Flúvicos e Áreas de Deposição	RU	41,10	1,43
		2885,11	100

Nota-se grande semelhança na distribuição das unidades pedológicas com as classes de declividade anteriormente descritas.

Com estas informações foi possível extrair os fatores contemplados no modelo da MEUPS, como indicado a seguir.

6.2 Avaliação dos Fatores contemplados pela MEUPS para área da bacia

6.2.1 Caracterização dos condicionantes naturais de erosão superficial hídrica dos solos (MEUPS) para bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande

Como mencionado anteriormente, o modelo de perda de solo prevê o aporte de sedimentos apenas para áreas em que a dinâmica de remoção dos materiais de superfície é mais intensa do que as de deposição. Desta forma, estas áreas foram satisfatoriamente delimitadas por meio das técnicas sugeridas em Valeriano (2001). Afigura 26 apresenta o mapa dos divisores de água e canais de drenagem associados ao MDE.

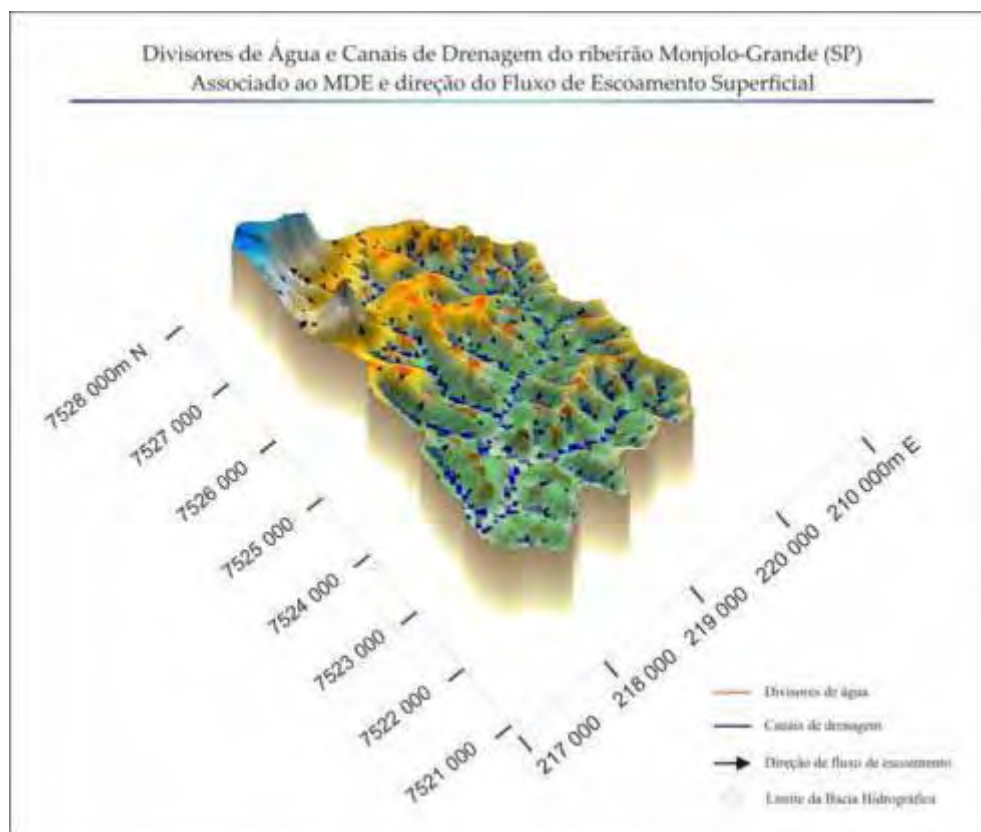


Figura 26: Divisores de água e canais de drenagem extraídos por meio de técnicas de geoprocessamento

Observou-se que os transectos apresentaram limites bem marcados, coerentes com o relevo representado pelo modelo, de modo que a técnica adotada mostrou-se satisfatória, permitindo a exclusão dessas áreas. Desta forma, a variável extensão de vertente (fator L) foi calculada considerando apenas as áreas de contribuição da vertente. A representação desta informação encontra-se na figura 27a.

Para realizar análise destas informações, primeiramente deve-se considerar que o procedimento sugerido por Desmet e Govers (1996), baseado no conceito de “área de contribuição”, não estima o comprimento linear da vertente, mas sim, estima a distância, em metros, do provável percurso realizado pela água no escoamento superficial.

Importante observar que a mesma toposequência não possui um único valor de comprimento, pois o modelo considera, a cada alteração de declividade, uma vertente independente.

Assim, observa-se que a influência do coeficiente angular (“m” “m⁺¹” e “m⁺²”) na determinação do comprimento é responsável pela técnica ser adequada para representar a complexidade da vertente. Diante o exposto, o mapa de extensão de vertente deve ser

interpretado de modo que as áreas côncavas (que apresentam maior contribuição das águas superficiais) sejam representados pelos maiores comprimentos (áreas em laranja) em relação às áreas convexas e retilíneas.

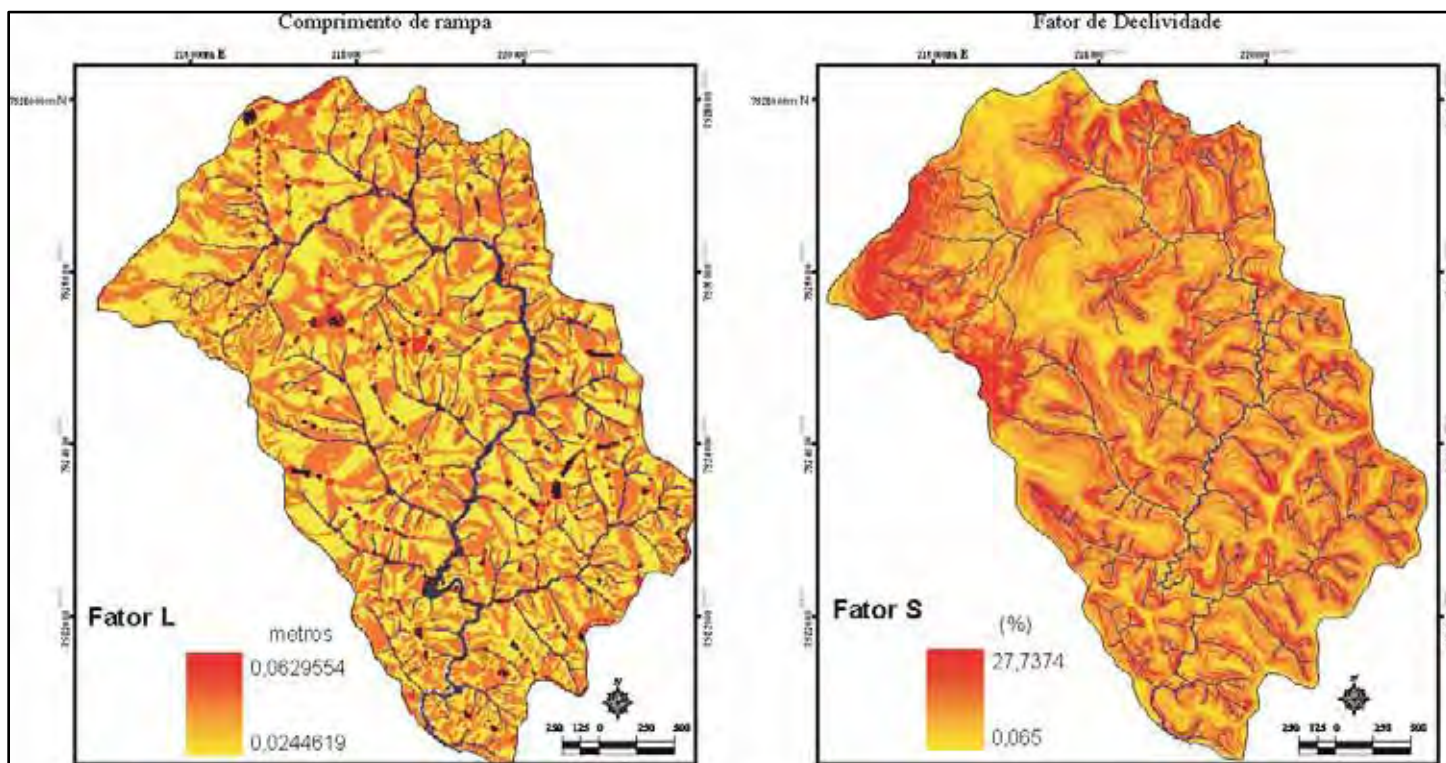


Figura 27: a) Fator L – Extensão de vertente. b) Fator S - Declividade

O fator de declividade (S) não altera a relação existente entre o desnível vertical e horizontal entre as cotas topográficas, no entanto, observa a diminuição do *range* apresentado para área em função do agrupamento dos valores. Áreas adjacentes que apresentam pequenas diferenças de declividade foram agrupadas e atenuadas, contudo, aquelas que apresentam diferenças abruptas foram realçadas. Para área da bacia, observou-se elevados valores do fator S praticamente em todos os canais de primeira ordem, nas faces dos morros residuais, ao longo dos principais afluentes e ao longo do canal principal. Já valores mais baixos foram indicados nas seções aplainadas dos divisores.

Para a avaliação do modelo como um todo, é importante a compreensão do comportamento existente entre as variáveis para uma mesma parcela do terreno (um mesmo pixel). O gráfico de dispersão entre os valores de L e S (figura 28) indica que não há correlação entre as variáveis, no entanto, pode -se observar duas tendências: primeiramente, há uma relação entre valores mais baixos de L (entre 0 e 1) com valores intermediários a elevados de S (0,025 a 0,055); e em um segundo grupo, valores

intermediários de L (1,3 a 2,8) correspondendo a valores também intermediários de S (0,020 a 0,043).

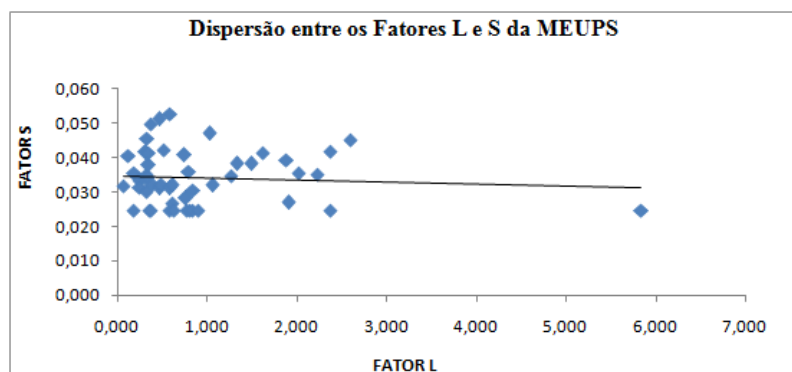


Figura 28: Dispersão entre valores obtidos para os fatores L e S da MEUPS. Seleção de pixels amostrais determinada por seleção randômica, com $n = 100$.

Diante o exposto, a interpretação do fator topográfico (LS) não pode ser conduzida mediante uma lógica determinada entre suas variáveis, pois nenhuma delas é capaz de explicar o fator topográfico com precisão matemática. O fator L explica 60%, enquanto que o fator S explica apenas 14% (figura 29).

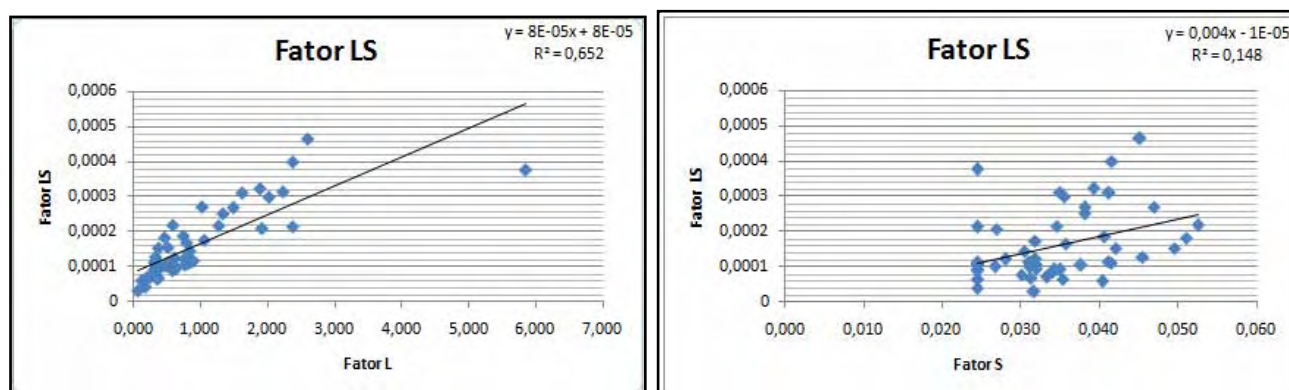


Figura 29: Diagrama de regressão linear para os dados do Fator Topográfico, Fator L e Fator S

A influência da extensão da vertente no fator topográfico pode ser observada nas áreas que apresentam valores elevados de S, como faces dos morros residuais. Observa-se uma atenuação dos valores de declividade em função do baixo valor da extensão de vertente.

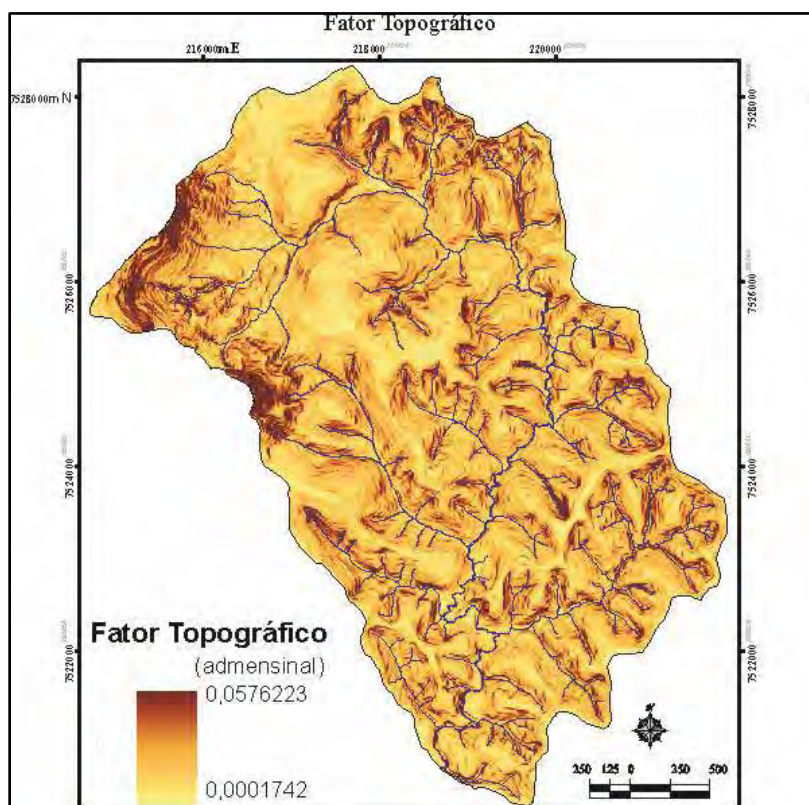


Figura 30: Fator Topográfico (LS) para área da bacia do ribeirão monjolo grande

A última variável referente ao meio natural contemplada pela MEUPS é o fator Runoff, que por sua vez, é obtido em função da quantidade de chuva (mm) que alimenta o modelo aliada as características e condições de superfície do terreno que condicionam o maior ou menor de volume do escoamento superficial. Conforme indicado na determinação dos fatores Q e Qp, foi utilizado dois métodos para determinação dos valores de chuva. Pelo método de Im, utilizado para simular o runoff para toda bacia, obteve-se um único valor de 166,56 mm/dia (6,94mm/h). Como previsto pelo método, este valor estima a probabilidade de uma chuva intensa máxima segundo diversos parâmetros meteorológicos regionais. A simulação do escoamento superficial para a área da bacia, considerando este volume de chuva, encontra-se na figura 31.

As áreas na bacia indicadas por baixos valores de runoff apresentam boa permeabilidade em termos pedológicos, associadas a coberturas vegetais mais densas (como mata naturais), que contribuem para a retenção da água no solo e consequentemente maior seu tempo de concentração, condicionando baixos volumes de escoamento superficial, mesmo durante o pico de vazão de um evento chuvoso.

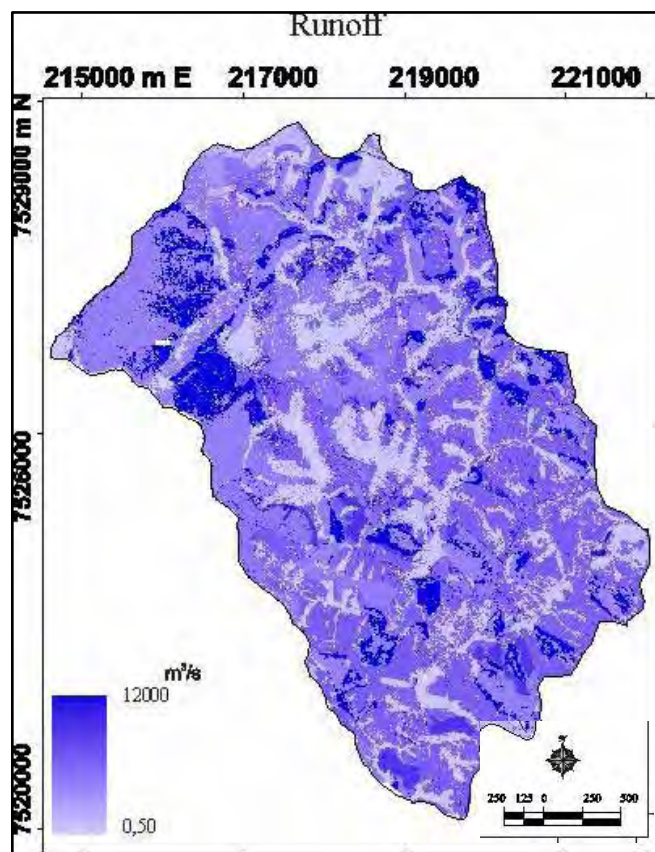


Figura 31: Determinação do runoff para área da bacia hidrográfica, considerando um volume de chuva de 166mm/dia

Observa-se assim, que as áreas associadas a mata ciliares (figura 33) em áreas aplainadas com cobertura pedológica de solos profundos exemplificam esta situação.

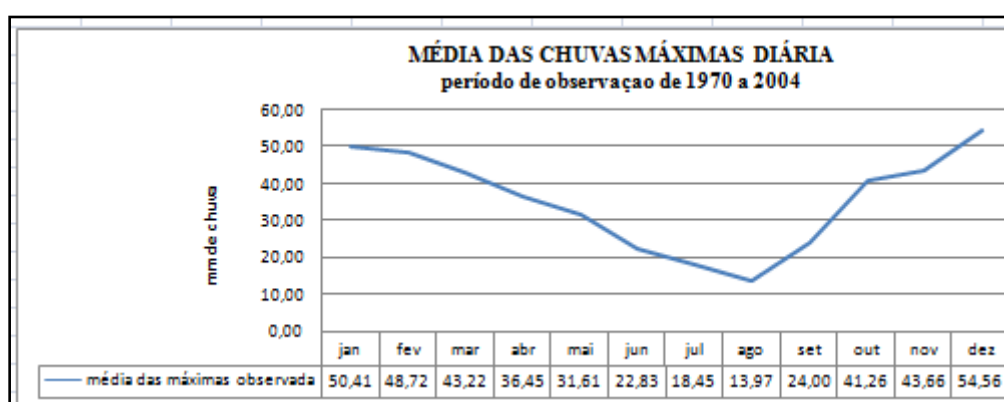
Em contra partida, observa-se o grande volume de runoff para áreas ausentes de cobertura vegetal, e ou aquelas que apresentam conjunto de elevadas declividades com presença de solos razos, condicionando menor tempo de concentração da água no solo favorecendo o deflúvio.

Observa-se o escoamento superficial de valor intermediário na presença de um conjunto de variáveis que se atenuam, como, por exemplo, áreas de acentuado declive mas coberta por cobertura vegetal densa, ou ausência de vegetação em áreas de boa permeabilidade.

Posteriormente, foi obtido a partir dos registros pluviográficos disponíveis para o posto de Ipeúna (Prefixo: D4-074), os valores das médias mensais de chuva, e os valores de média das máximas mensais, esse, utilizado para a simulação do aporte de sedimento por propriedade rural ao longo do ano. A distribuição dos valores de chuva encontra-se indicada na tabela 19 e na figura 32.

Tabela 19: Médias mensais de chuvas e média das máximas de chuva observadas

médias de chuva para o município de Ipeúna-SP (1964 a 2004)		
Mês	média de chuva diária mm/dia	média das máximas observada mm/dia
Jan	8,09	50,41
Fev	7,28	48,72
Mar	5,87	43,22
Abr	2,88	36,45
Mai	2,39	31,61
Jun	1,65	22,83
Jul	1,12	18,45
Ago	1,14	13,97
Set	2,38	24,00
Out	4,07	41,26
Nov	5,37	43,66
Dez	8,06	54,56

**Figura 32: gráfico da média das máximas de chuva observadas**

A distribuição espacial dos valores indicados a cima é apresentada na figura 38, para exemplificar a variabilidade temporal de perda de solo por propriedade ao longo do ano.

6.2.2 Caracterização dos condicionantes antrópicos de erosão superficial hídrica dos solos (MEUPS) para bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande

Como condicionantes antrópicos previstos pela MEUPS, apresenta-se na figura 33 o mapa de uso da terra e cobertura vegetal (Fator C) para área da bacia (com a sobreposição da malha fundiária) e a tabela 20 contendo os valores, em área (ha), de cada classe temática por propriedade rural. O mapa de práticas conservacionistas (fator P) encontra-se na figura 32.

MAPA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NATURAL (2009)

Carsten Lemdtke

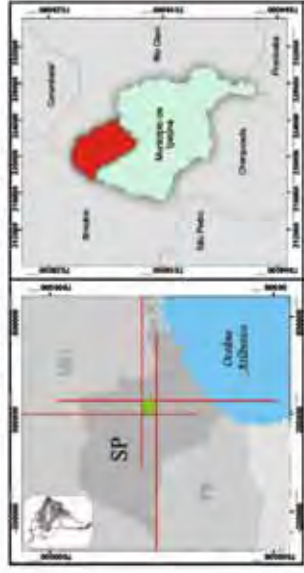
- Cana-de-açúcar
- Granja
- Mata Natural
- Pasto
- Pasto Degradado
- Silvicultura
- Solo Exposto

- Limite da Bacia Hidrográfica
- Rede Hidrográfica
- Limite das Propriedades Rurais



Projeção Universal Transversa de Mercator
UTM - FUSO 23
Datum Horizontal - Carregado Alegre

Localização do município de Ipeema no Estado de São Paulo, com destaque à bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo-Grande.



- Limite Municipal
- Município de Ipeema - SP
- B.H. ribeirão Monjolo-Grande



Apoio:



Autores
Luiz Henrique Pereira
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

2010

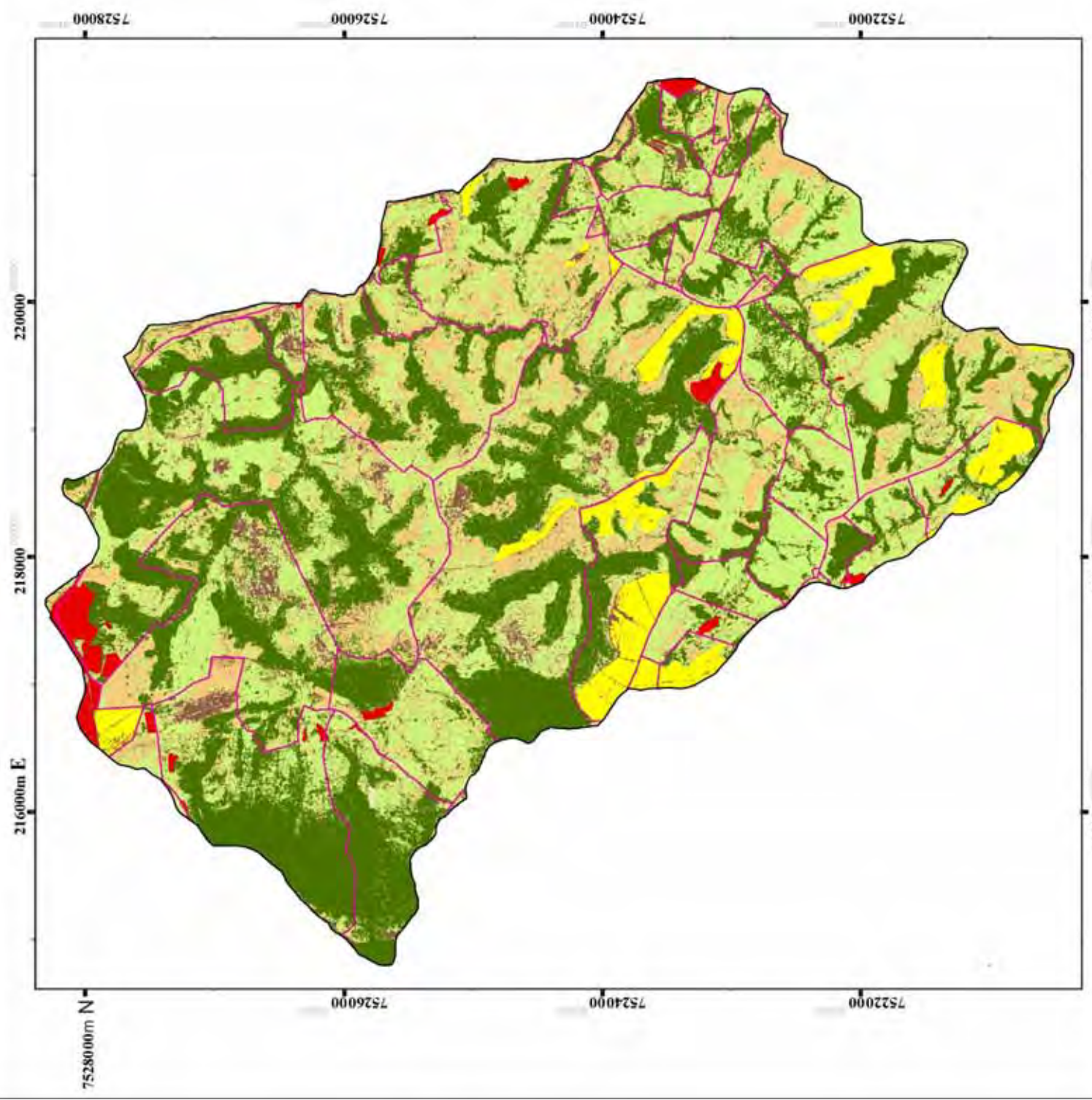


Figura 33: mapa de uso da terra e cobertura vegetal

Propiedades Rurales	Clase de Uso da Terra e Cobertura Vegetal														Soma (%)	
	Código LUPA	Área (ha)	Mata Natural		Pasto		Pasto degradado		Silvicultura		Cana-de-açúcar		Solo Exposto			
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%		ha
241-00014	31,85	6,61	20,75	19,64	61,67	5,41	16,97	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,19	0,59	100
241-00016	30,6	6,68	21,84	22,71	74,23	1,13	3,70	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,06	0,19	100
241-00036	24,67	7,28	29,50	14,66	59,44	2,35	9,54	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,38	1,52	100
241-00052	4,34	0,69	16,01	0,92	21,30	2,71	62,38	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,02	0,37	100
241-00075	31,4	8,64	27,52	17,30	55,09	3,92	12,47	0,96	3,05	0,27	0,86	0,31	0,98	0,83	1,75	100
241-00075	47,16	10,76	22,82	13,54	28,70	4,33	9,18	0,42	0,89	17,28	36,64	0,83	1,75	1,84	2,37	100
241-00095	77,98	18,08	23,18	34,35	44,05	23,71	30,40	-	0,00	-	0,00	1,84	2,37	0,51	0,99	100
241-00097	51,73	19,95	38,56	25,58	49,44	5,68	10,98	-	0,00	-	0,00	0,51	0,99	0,50	2,04	100
241-00114	24,3	3,96	16,28	13,94	57,36	4,65	19,12	1,19	4,91	0,05	0,22	0,50	2,04	23,25	5,10	100
241-00169	456,17	208,91	45,80	112,36	24,63	84,44	18,51	4,01	0,88	23,20	5,08	0,08	0,56	0,03	0,83	100
241-00180	14,06	5,97	42,48	5,45	38,76	2,55	18,13	-	0,00	-	0,00	0,08	0,56	1,68	1,69	100
241-00181	3,73	0,39	10,41	0,14	3,72	0,33	8,76	2,85	76,29	-	0,00	0,03	0,83	0,01	0,11	100
241-00201	99,69	69,50	69,72	20,68	20,74	6,58	6,60	0,44	0,44	-	0,00	1,68	1,69	15,87	7,93	100
241-00207	200,12	75,87	37,91	69,52	34,74	38,86	19,42	0,02	0,01	-	0,00	0,01	0,11	0,01	0,11	100
241-00213	5,1	1,58	30,89	2,07	40,51	1,44	28,25	-	0,00	-	0,00	0,01	0,11	0,12	0,82	100
241-00218	14,08	7,14	50,69	5,06	35,96	1,76	12,49	-	0,00	-	0,00	0,12	0,82	0,35	1,55	100
241-00230	22,67	2,77	12,24	2,31	10,20	2,28	10,04	0,01	0,06	9,43	41,62	0,35	1,55	3,43	21,13	100
241-00265	16,21	5,07	31,27	4,35	26,82	3,17	19,53	0,19	1,17	-	0,00	3,43	21,13	0,36	6,07	100
241-00472	5,93	2,21	37,28	1,08	18,16	2,28	38,43	-	0,00	-	0,00	0,36	6,07	7,04	4,38	100
241-00263	160,7	35,04	21,80	65,49	40,75	48,20	29,99	1,18	0,73	3,81	2,37	7,04	4,38	3,43	26,89	100
241-00265	12,74	5,07	39,79	4,35	34,13	3,17	24,85	0,19	1,49	-	0,00	3,43	26,89	0,36	3,43	100
241-00266	10,55	2,82	26,70	5,19	49,21	2,18	20,71	-	0,00	-	0,00	0,36	3,43	0,13	4,73	100
241-00267	2,82	0,30	10,74	0,98	34,61	1,41	49,87	-	0,00	-	0,00	0,13	4,73	0,28	3,03	100
241-00268	9,24	2,99	32,32	3,87	41,85	2,11	22,85	-	0,00	-	0,00	0,28	3,03	0,08	0,81	100
241-00269	10,26	3,91	38,09	4,49	43,78	1,78	17,31	-	0,00	-	0,00	0,08	0,81	0,03	15,27	100
241-00275	0,2	0,11	54,84	0,04	19,83	0,03	13,75	-	0,00	-	0,00	0,03	15,27	0,03	15,27	100

Propiedades Rurales		Clase de Uso da Terra e Cobertura Vegetal												Soma (%)				
		Mata Natural		Pasto		Pasto degradado		Silvicultura		Cana-de-açúcar		Solo Exposto						
Código LUPA	Área (ha)	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
241-00278	88,41	24,69	27,93	42,14	47,67	20,97	23,72	-	0,00	0,07	0,07	0,51	0,58	0,34	1,63	0,51	0,58	100
241-00280	20,86	7,12	34,14	7,33	35,12	5,96	28,56	0,11	0,55	-	0,00	0,34	1,63	-	0,00	0,34	1,63	100
241-00281	38,61	9,82	25,43	24,03	62,24	4,41	11,42	-	0,00	-	0,00	0,36	0,94	-	0,00	0,36	0,94	100
241-00282	171,14	64,98	37,97	52,79	30,84	55,12	32,21	-	0,00	-	0,00	5,35	3,13	-	0,00	5,35	3,13	100
241-00283	1,87	0,40	21,59	0,36	19,35	0,88	47,31	-	0,00	-	0,00	0,23	12,23	-	0,00	0,23	12,23	100
241-00285	253,98	81,81	32,21	80,53	31,71	57,15	22,50	0,14	0,05	29,91	11,78	4,48	1,77	-	0,00	4,48	1,77	100
241-00286	5,38	2,87	53,29	1,63	30,21	0,66	12,27	-	0,00	-	0,00	0,23	4,33	-	0,00	0,23	4,33	100
241-00287	366,33	161,30	44,03	114,27	31,19	61,81	16,87	14,66	4,00	-	0,00	14,26	3,89	-	0,00	14,26	3,89	100
241-00288	21,83	8,00	36,66	10,05	46,05	3,31	15,18	-	0,00	-	0,00	0,44	2,02	-	0,00	0,44	2,02	100
241-00289*	40,19	16,70	41,54	14,50	36,07	6,57	16,36	0,37	0,93	-	0,00	1,93	4,80	-	0,00	1,93	4,80	97
241-00332	17,16	2,77	16,17	2,31	13,47	2,28	13,26	0,01	0,07	9,43	54,98	0,35	2,05	-	0,00	0,35	2,05	100
241-00364	88,52	28,74	32,47	38,85	43,89	16,60	18,76	1,44	1,63	-	0,00	2,83	3,20	-	0,00	2,83	3,20	100
241-00366	168,97	104,56	61,88	33,80	20,00	20,98	12,42	1,71	1,01	-	0,00	7,89	4,67	-	0,00	7,89	4,67	100
241-00445	13,17	8,64	65,59	2,74	20,77	1,55	11,79	0,21	1,56	-	0,00	0,04	0,30	-	0,00	0,04	0,30	100
241-00446	4,47	0,01	0,27	0,03	0,57	0,01	0,15	-	0,00	4,17	93,29	0,26	5,71	-	0,00	0,26	5,71	100
241-00447	114,51	31,69	27,67	16,18	14,13	14,77	12,90	-	0,00	46,56	40,66	5,35	4,67	-	0,00	5,35	4,67	100
241-00455	61,78	30,87	49,96	19,67	31,84	10,01	16,21	0,07	0,12	-	0,00	1,14	1,85	-	0,00	1,14	1,85	100
241-00470	21,22	0,28	1,30	0,65	3,06	1,13	5,34	7,93	37,39	8,91	42,01	2,31	10,86	-	0,00	2,31	10,86	100
241-00446	4,89	2,21	45,20	1,08	22,03	2,28	46,60	-	0,00	-	0,00	0,36	7,36	-	0,00	0,36	7,36	100
241-00241	12,4	0,90	7,25	4,74	38,22	5,07	40,88	1,26	10,16	0,04	0,29	0,40	3,23	-	0,00	0,40	3,23	100
241-00027	1,12	0,37	32,75	0,55	48,71	0,21	18,46	-	0,00	-	0,00	0,00	0,19	-	0,00	0,00	0,19	100
TOTAL BACIA HIDROGRÁFICA	2885,11	1101,02	38,16	938,26	32,52	548,16	19,00	39,37	1,36	153,12	5,31	110,22	3,82	110,22	3,82	110,22	3,82	100

Observa-se pelos valores em porcentagem das clases temáticas, que a bacia é predominantemente composta por áreas de pastagens (32,5 %) e pastagens degradadas (19%), o que indicando a pecuária como principal atividade econômica exercida na bacia, pois as áreas cobertas por cana de açúcar somam apenas 5,31%, sendo restritas as propriedades 241- 00075, 114, 169, 230, 263, 285, 332, 446, 447, 470, 241.

Em termos de cobertura de mata natural (38%), observa-se para bacia áreas melhores preservadas ao norte, com as vegetações de encosta nas áreas dos morros residuais, e as áreas de cabeceira do ribeirão Monjolo Grande. Já ao sul da bacia, a proteção aos cursos d'água apresenta-se menos densa. De modo geral, observa-se que praticamente todas as propriedades apresentam áreas com cobertura vegetal natural acima de 20% (valor mínimo de Reserva Legal exigido para uma propriedade segundo o Código Florestal 1965)

No mapeamento, foi dada especial atenção à classe temática “solo exposto”, pois, como a MEUPS considera um único evento chuvoso, é fundamental a avaliação do comportamento de perda de solos nessas áreas. Assim, observou-se que para um mesmo período do ano (Junho, mês em que se realizou o aerolevante), praticamente 4% da área da bacia encontra-se desprotegida de qualquer tipo de cobertura vegetal.

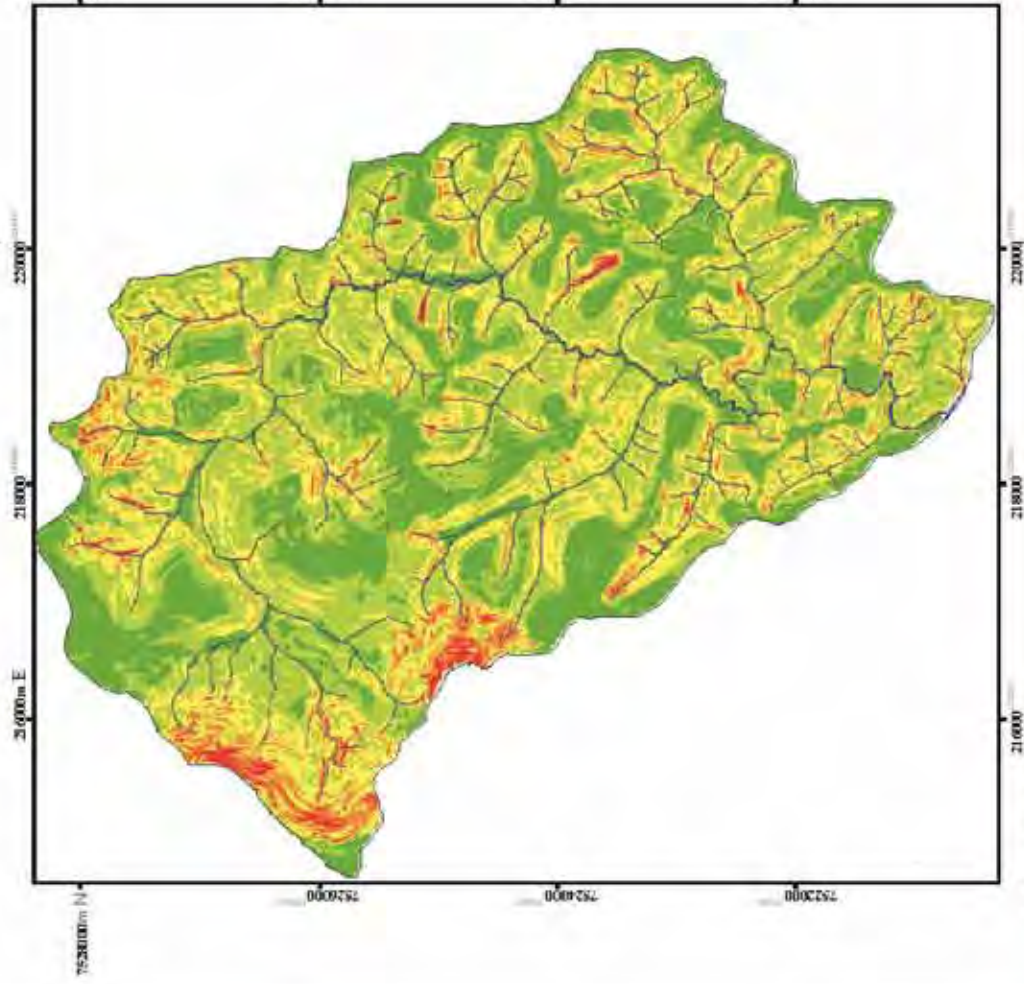
Áreas cobertas por silvicultura, apesar de observadas na maioria das propriedades, representam apenas 1,3% da cobertura da bacia, pois compõe pequenos talhões sem finalidade econômica, apenas para uso interno das propriedades.

Estabelecida a caracterização dos indicadores de erosão, e compreendido o comportamento de cada variável que compõe o modelo, pôde-se realizar a integração dos dados segundo a lógica MEUPS, obtendo estimativas quantitativas de PNE e PRE e as informações qualitativas de intensidade da Expectativa a erosão laminar, considerando tanto a área da bacia, como análise das propriedades.

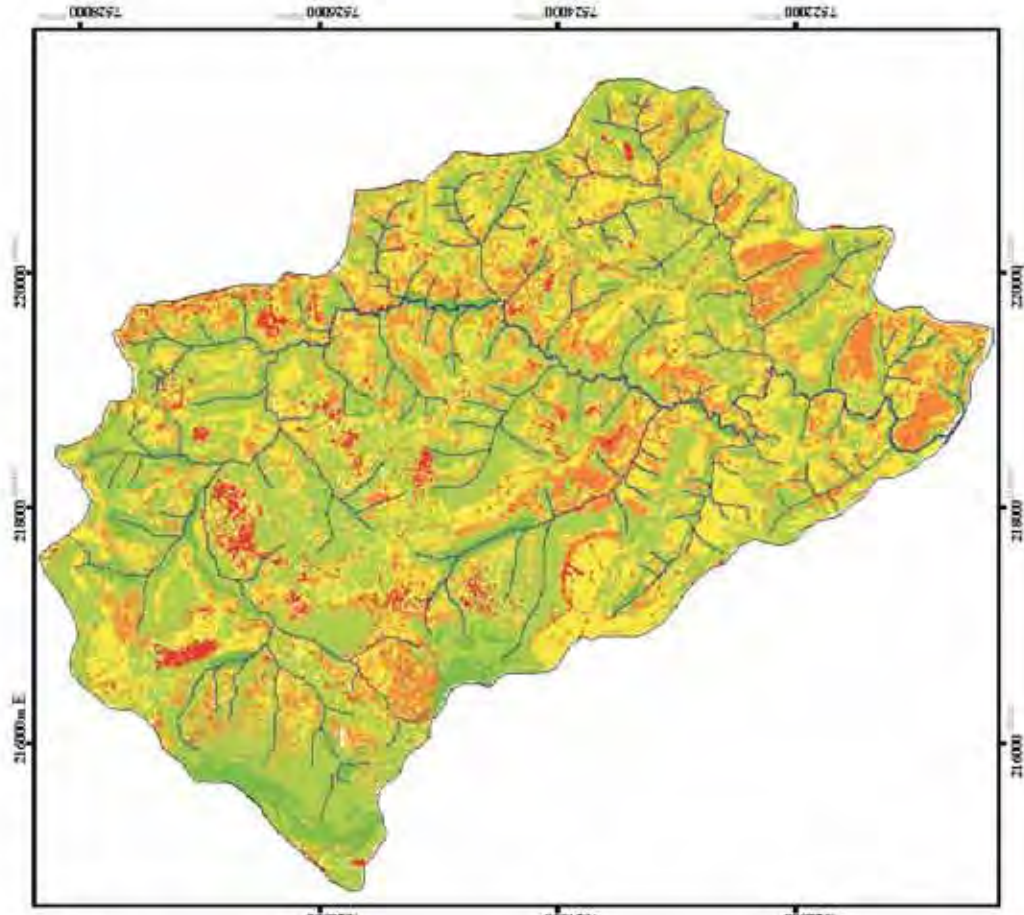
6.3 Avaliação da perda de solo por erosão laminar hídrica (PNE, PRE, Expectativa a erosão) para área da bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande

Conforme proposta de análise de dados, primeiramente apresenta-se na figura 34 a análise diagnóstica da bacia por meio do potencial natural a erosão e predisposição ao risco de erosão (PNE e PRE).

**POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO
(PNE)**



**PREDISPOSIÇÃO AO RISCO DE EROSIÃO
(PRE - ANO DE 2009)**



Valores de PNE e PRE



Projeção Universal Transversa de Mercator
UTM - FUSO 23
Datum Horizontal - Corrego Alegre

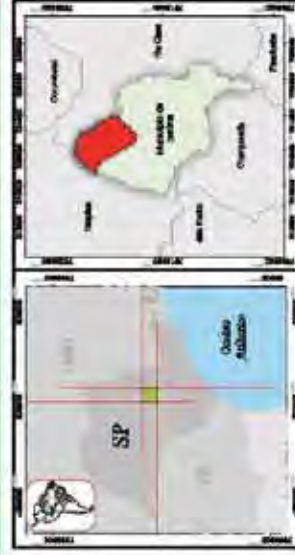


Figura 34: PNE e PRE

As estimativas de PNE obtidas para bacia, considerando um evento chuvoso de 166 mm em 24 horas, indicam que as áreas de cabeceiras dos canais de primeira ordem, principalmente ao norte da bacia, apresentam valores de perda classificados como muito alto. Deve-se salientar que estas áreas apresentam solos rasos, de baixa tolerância e elevada declividade, e coincidem com as áreas de elevado LS. No entanto, quando considerada a influência da cobertura vegetal nessas áreas (matas ciliares), observa-se a inversão de classe em termos de perda de solo, isto porque a densidade da vegetação oferece boa proteção ao solo, enquadrando-se como boa cobertura.

As áreas intermediárias dos valores de PNE coincidem com valores intermediários do fator topográfico, com valores de runoff de mediano a elevado, e se concentram nas áreas declivosas que contornam os cursos d'água. Há também áreas de valores intermediários ao sul da bacia, próxima ao seu exutório, principalmente em seu lado esquerdo, assim como no sopé dos morros residuais. Na presença da cobertura vegetal, estima-se uma tendência a intensificação da perda de solo. Observou-se notoriamente este fato no setor NE da bacia, ao longo do lado esquerdo do Monjolo Grande, onde percorre em sentido NE-SW no centro da bacia.

Áreas de PNE estimadas com baixa perda de solo em grande parte mantiveram a classificação na presença de cobertura vegetal, apresentando tendência a assumir valores intermediários, com algumas exceções como observado ao norte da bacia nas áreas de extensos interflúvios. A tabela 20 apresenta a distribuição dos valores por classe de perda de solo e área total.

Tabela 20: Estimativas de perda de solo para a bacia considerando o PNE e PRE

Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande					
Intervalo de Classes*		PNE**		PRE**	
T/ha/dia		ha	%	ha	%
≤0,001	Muito Baixo	737,1128	25,74	1319,919	50,41
0,001 - 0,003	Baixo	1172,518	40,94	619,412	23,66
0,003 - 0,006	Médio	746,4576	26,06	239,1344	9,13
0,006 - 0,01	Alto	169,5852	5,92	166,3176	6,35
≥ 0,05	Muito Alto	37,8352	1,32	273,0704	10,43
		2863,509	100	2863,509	100

* Intervalos de classes determinados em função da Tolerância média do conjunto de solos que compõe a bacia. ** Estimativa de perda diária, determinada pelo valor de erosividade (Fator R) anual obtido para o município de Ipeúna.

Observou-se que 66% da área da bacia, em termos de potencial natural a erosão, possuem perda de solo em níveis variando de baixo a muito baixo, enquanto que os 33% restante, distribuem-se nas classes entre médio (26%), alto (6%) e muito alto (1%). Quando simulada a influencia do fator antrópico sobre o meio físico, observou-se um pequeno acréscimo em área no intervalo que varia de baixo a muito baixo (incremento de 6%), acompanhada de uma grande redução dos valores médios (de 26% para 6%), manutenção das áreas com valores considerados altos (mantém área de 6%), e um incremento de aproximadamente 9% da classe muito alto.

De modo geral, pode-se observar uma relação entre as áreas consideradas “boa cobertura vegetal” (vegetação natural e pastagem) com as áreas de PRE estimadas entre baixa e muito baixa (70 e 73% respectivamente), assim como a soma das classes das coberturas que oferecem menor proteção ao solo (cana e solo exposto) se igualam em área com a classe de PRE muito alto (aproximadamente 10%).

No entanto, a estimativa de PRE não indica se o uso e cobertura da terra agem como intensificadores do processo natural de perda de solo. Desta forma, adotou-se o índice de $CP_{\text{tolerável}}$ para indicar as áreas de expectativa a erosão laminar (figura 35).

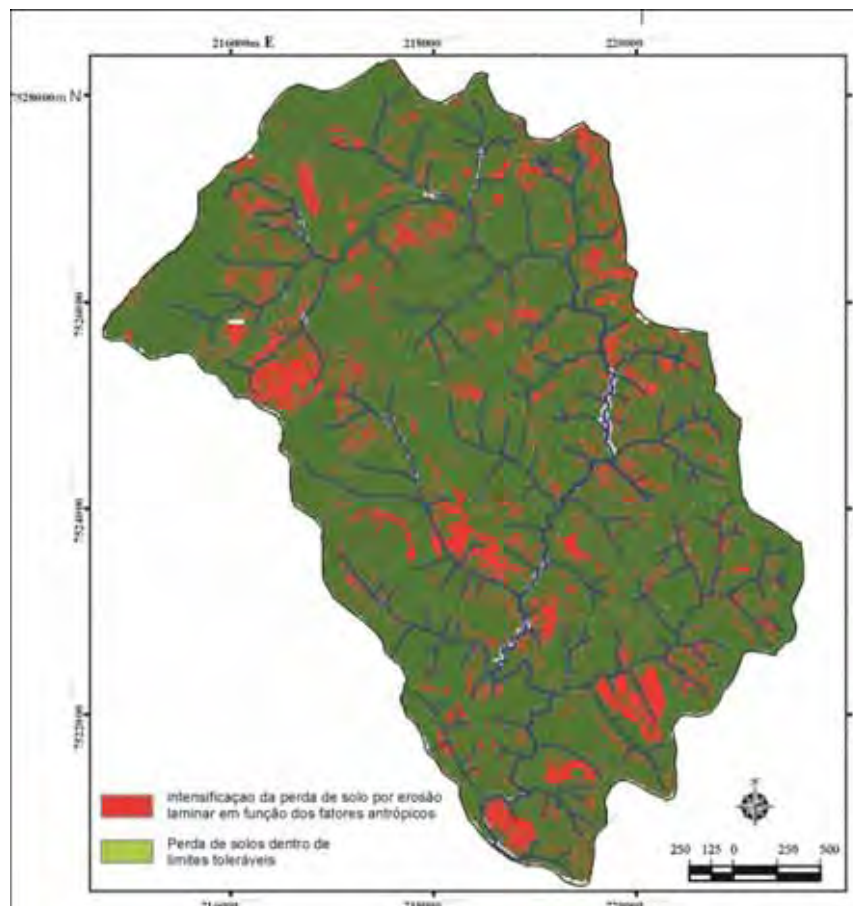


Figura 35: Expectativa a erosão laminar

As áreas destacadas em vermelho indicam que a influência antrópica de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas intensificam o processo erosivo de superfície. As áreas representadas em verde indicam que a perda de solo em função dos fatores antrópicos não excede os limites máximos de perda naturalmente toleráveis.

As análises de PRE e expectativa a erosão serão melhores detalhadas incluindo a análise das propriedades rurais.

6.4 Avaliação do PRE e Expectativa a erosão laminar por propriedade rural

Com o objetivo de indicar as propriedades rurais que mais contribuem com o aporte de sedimentos nas vertentes, primeiramente, deve-se partir do pressuposto lógico de que o valor total de perda é diretamente proporcional ao tamanho da área da propriedade, ou seja, quanto maior a propriedade, maior a contribuição de material sedimentar, uma vez que o processo erosivo é um fenômeno natural (dentro de limites toleráveis) e independe da intervenção antrópica para sua ocorrência. Esta relação pode ser observada na bacia do ribeirão Monjolo Grande, e é indicada pela correlação positiva entre as variáveis conforme figura 36.

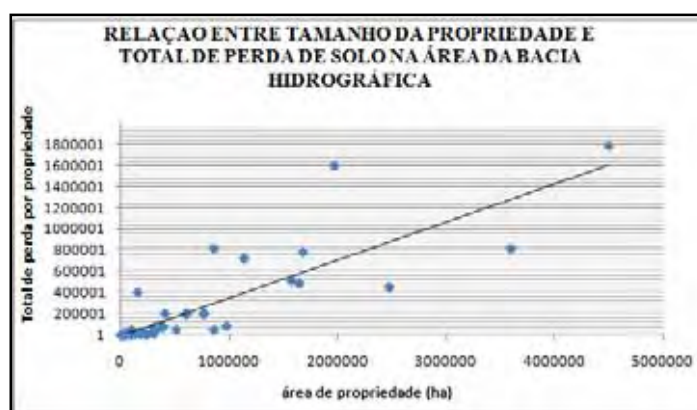


Figura 36: Correlação entre tamanho da área da propriedade e total de perda de solo. Os valores de perda de solo apresentados foram obtidos do mapa de PRE (figura 34).

Por se caracterizar em um pressuposto lógico, a análise desta relação serviu como parâmetro de avaliação dos valores totais de perda obtidos para cada propriedade, pois, uma vez que não há dados extraídos de campo para realizar calibração do modelo, qualquer ponto anômalo a esta correlação poderia indicar possível manipulação inadequada de dados e conseqüente erro nos procedimentos de síntese cartográfica.

Para avaliar o PRE por propriedade rural, recorreu-se a variação temporal do fator runoff, determinado pelos prováveis valores máximos de chuva mensal (tabela 19), a fim de simular a variabilidade espacial e temporal do aporte de sedimento ao longo do ano.

Desta forma, apresenta-se na figura 37 o gráfico da estimativa de perda total de solo por propriedade, considerando um evento chuvoso extremo representativo do mês, com 24h de duração, em sequencia apresenta-se na figura 38 sua espacialização.

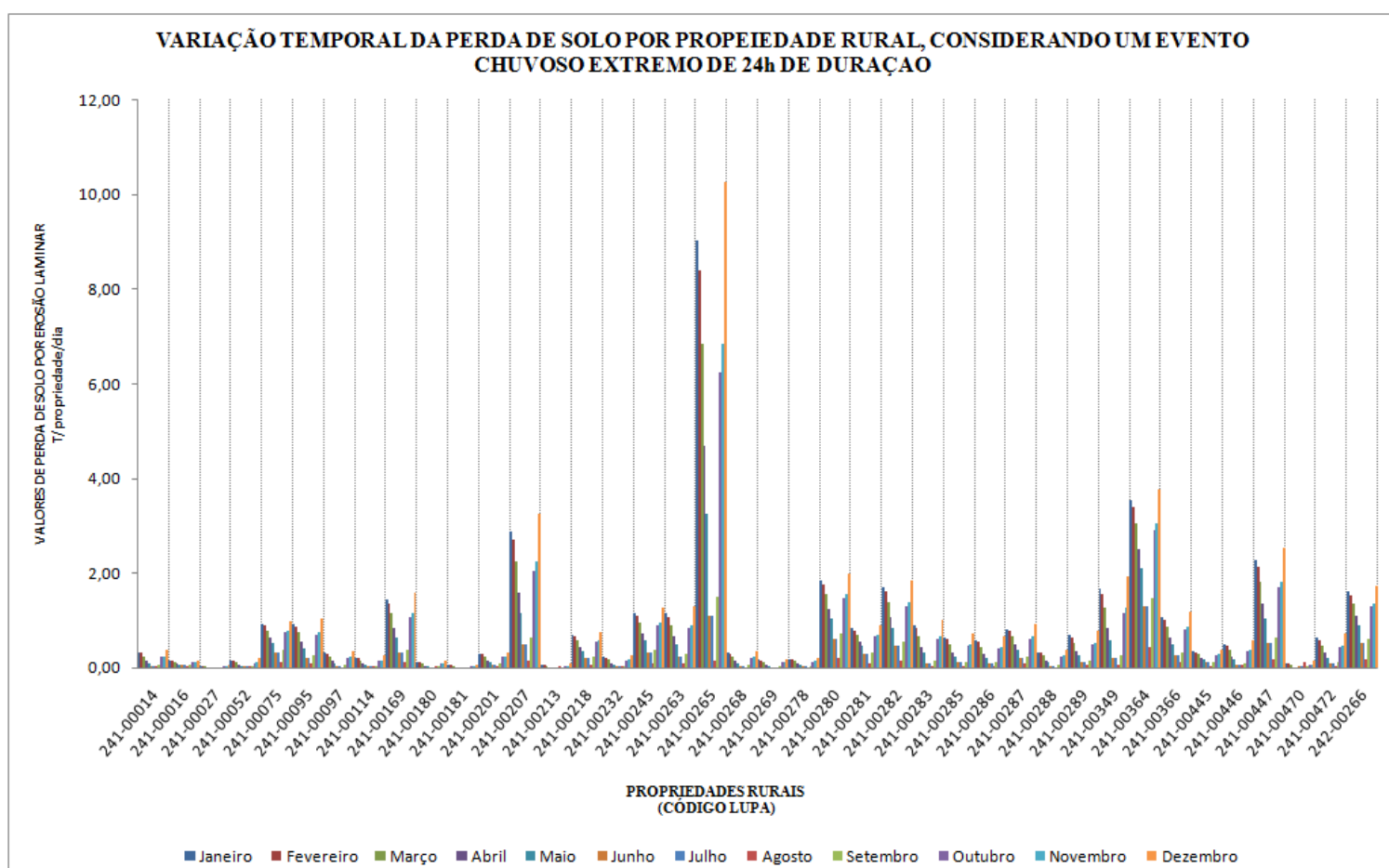
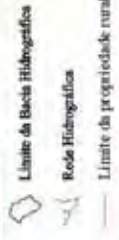
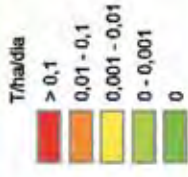


Figura 37: Variabilidade anual da perda total de solo por propriedade rural

Assim, indica-se a propriedade 241-00265 como aquela que apresenta a maior estimativa de predisposição ao risco de erosão durante todo o ano, e a propriedade 0027 como aquela que menos contribui com o aporte de sedimento para área.

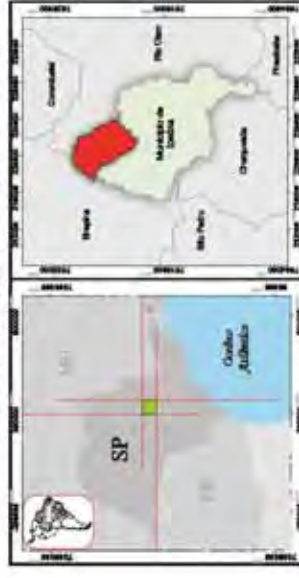
VARIAÇÃO TEMPORAL DA PREDISPOSIÇÃO AO RISCO DE EROSÃO

Valores de T_{fhd}



Projção Universal Transversa de Mercator
UTM - FUSO 23
Datum Horizontal - Córrego Alegre

Localização do município de Ipaúna no Estado de São Paulo, com destaque à bacia hidrográfica do rio São Monjolo Grande.



Apoio:



Autores
Luiz Henrique Pereira
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

2010

Figura: 38

Página: 95

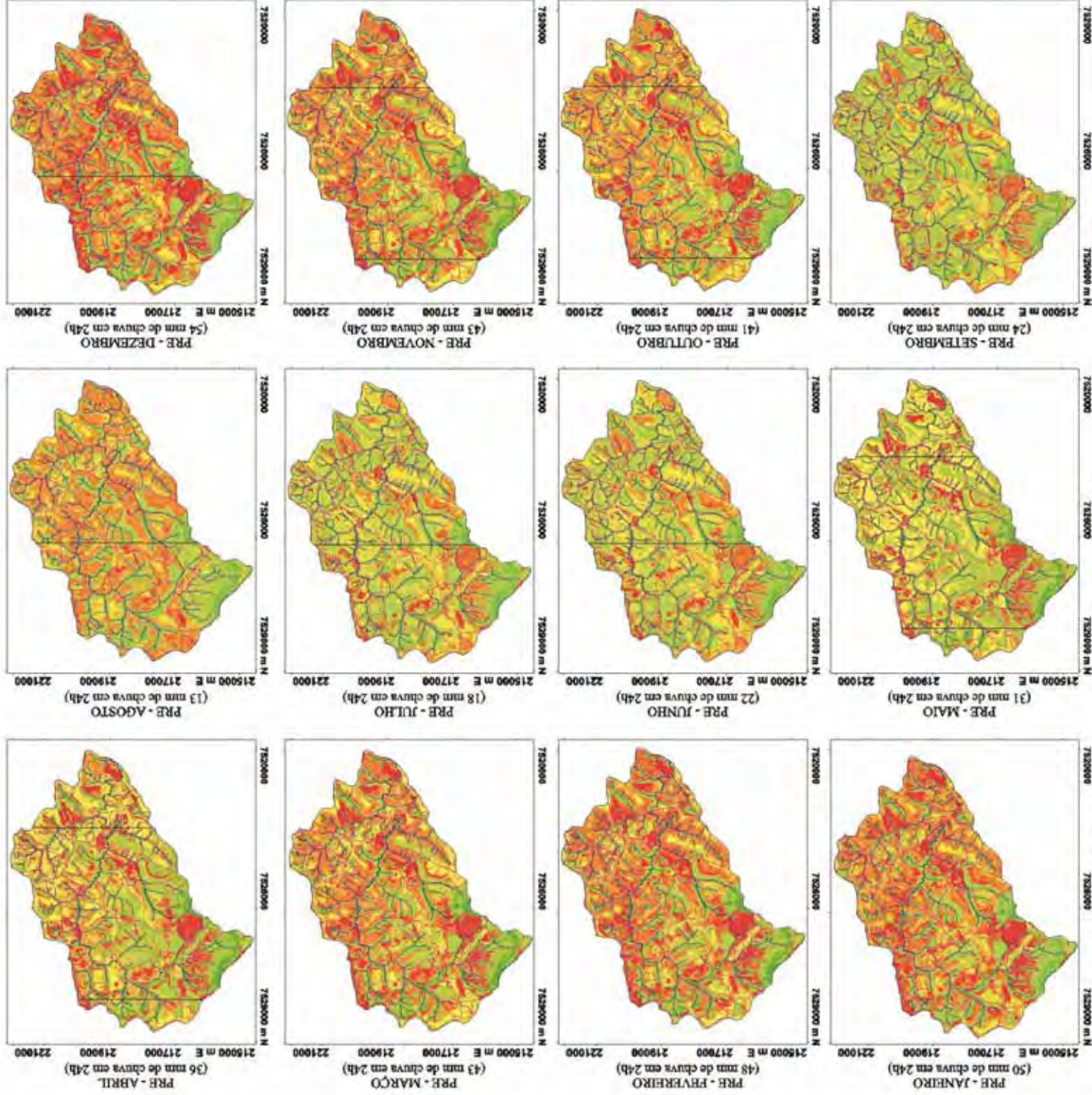


Figura 38: Variação temporal da estimativa de predisposição ao risco de erosão - PRE

No entanto, para indicar as propriedades que fornecem maior quantidade de material sedimentar sem que o tamanho da propriedade interfira na análise, é preciso anular a hipótese inicial de correlação positiva entre área da propriedade e total de perda. Para isto, relativizou-se as estimativas de PRE em função do tamanho da propriedade e área da bacia, conforme indicado na figura 39.

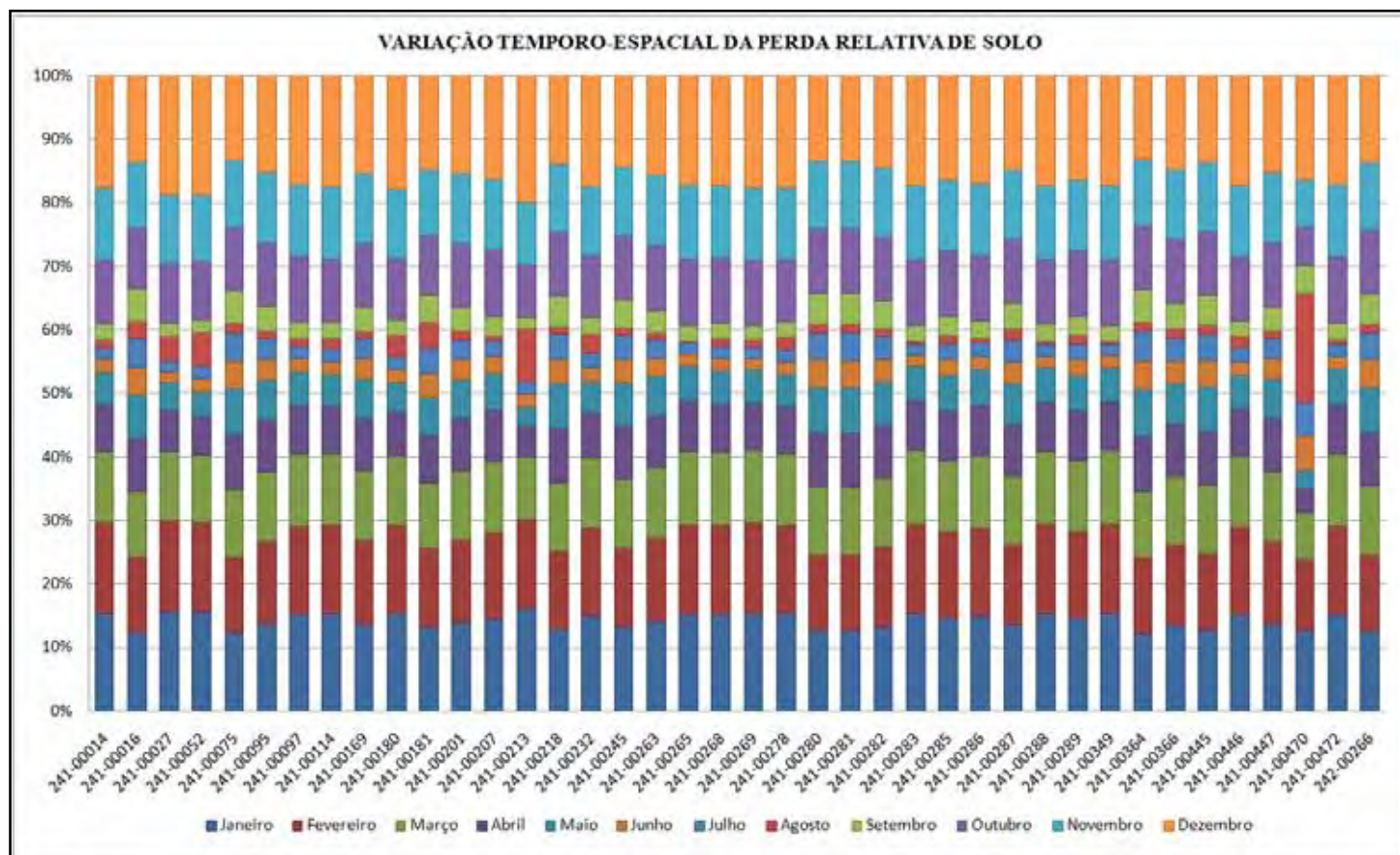


Figura 39: Variabilidade mensal da contribuição relativa de perda de solo para área da bacia do ribeirão Monjolo Grande

Evidenciou-se que a perda relativa de solo por propriedade é dinâmica no tempo e no espaço, de modo que aquela que apresenta, em relação a outras propriedades, porcentagens elevadas de perda para o período chuvoso, não necessariamente manterá a taxa relativa na época de estiagem.

A avaliação dos produtos temáticos gerados indicou que a variação do *runoff* (único parâmetro em que se assumiu a variabilidade temporal) não apresenta para a mesma propriedade um comportamento linear constante ao longo dos meses, determinando assim a variabilidade de perda entre propriedades ao longo do tempo. Este fato pode ser explicado

com base nas configurações de uso da terra e cobertura vegetal, que se comporta como parâmetro de retenção de água, condicionando diferentes tempos de concentração (T_c) em superfície, refletindo distintamente no volume de escoamento superficial e vazão pico de cada propriedade conforme a variação do volume de água simulado.

No gráfico da figura 39, as propriedades que apresentam significativa perda relativa de solo no trimestre de estiagem (Junho, Julho e Agosto), como observado nas propriedades 241-470 e 241-00213, são aquelas que se situam em áreas de elevado PNE, com vertentes alongadas de alta declividade, e presença de solos pouco toleráveis a perda, como os câmbicos. No entanto, análises de correlação realizadas entre os parâmetros do modelo e os valores de PRE para o trimestre considerado (não apresentados neste trabalho), indicaram que, na lógica da MEUPS os fatores CP é que explicam matematicamente os elevados valores de PRE.

Assim, pode-se dizer auxiliado pelas observações em campo, que a aplicação da MEUPS para esta bacia tendeu a superestimar os valores de perda nas áreas em que parcela de terra modelada apresentou baixos índices de runoff associados a elevado PNE, mas com coberturas vegetais relativamente adequadas, como a pastagem, observando assim, a forte influência dos valores de uso da terra e cobertura vegetal na determinação da estimativa de perda, quando na realidade, as configurações e características de relevo representaram os agentes determinantes do processo erosivo. No entanto, para afirmar o quanto o modelo superestima os valores, demanda de uma avaliação sistemática sob condições de campo e/ou controladas, por um longo período de tempo para análises conclusões.

Nesta linha de raciocínio, a ausência de escoamento superficial em algumas áreas da bacia para o mês de Agosto pode explicar a aparente intensificação dos valores de PRE. Assim, pode-se considerar que o modelo foi sensível às variações de runoff até o mês de julho, com 18 mm, sendo que a partir de 13mm de chuva, os dados de uso da terra deixaram de ser atenuados, e sobrepujaram as estimativas.

Apesar das informações de PRE indicadas fornecer estimativas quantitativas do aporte de sedimento, pouco informam se as taxas de perda observadas em cada propriedade encontram-se a cima ou dentro de limites considerados toleráveis.

Assim, os valores de perda de solo estimados pelo PRE tem na variação do índice de $CP_{\text{tolerável}}$ (uso máximo permitido) o parâmetro considerado ideal para realizar a

avaliação das áreas que apresentam expectativas a perdas de solo intensificadas ou não pelo uso e cobertura da terra.

Desta forma, a expectativa a erosão, expressa como a suscetibilidade de uma área à erosão laminar, é indicada como a discrepância entre o uso atual e o uso tolerável (PRE subtraído do $CP_{\text{tolerável}}$). Para realizar esta análise optou-se em utilizar o cenário de PRE do mês de dezembro, no qual ocorre a perda máxima de solo ao longo do ano.

A matriz de valores resultante desta síntese forneceu indicadores numéricos da menor e maior possibilidade de ocorrência de erosão laminar nas propriedades. Os valores de expectativa a erosão apresentados na figura 40 foram padronizados entre -1 e 1 apenas para agrupar e facilitar a visualização das propriedades que apresentam áreas menos suscetíveis a erosão com perdas de solo dentro de limites toleráveis (-1 a 0), e aquelas que apresentam maiores suscetibilidade a erosão e elevado potencial a perdas excessivas (+1), configurando-se em propriedades com alto potencial a erosão e degradação dos solos. Desta forma, apresenta-se a seguir o agrupamento das propriedades segundo expectativas positiva e negativa a erosão laminar.

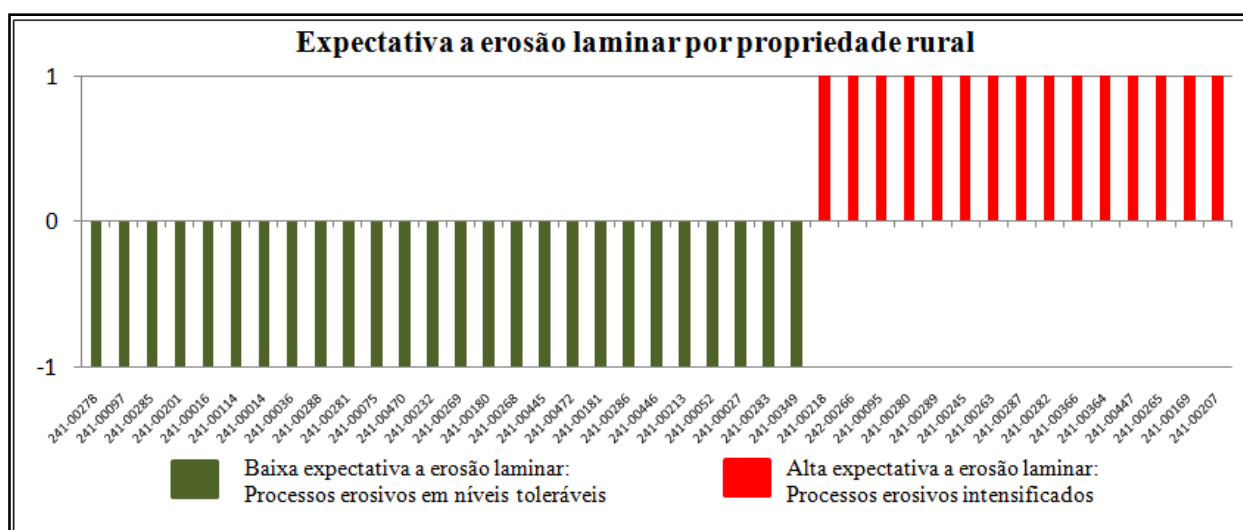


Figura 40: Propriedades agrupadas em função de expectativas positivas e negativas a erosão laminar

De acordo com os dados obtidos, é possível afirmar que dentre as 49 propriedades rurais mapeadas nesta pesquisa, 15 apresentam áreas potencialmente favoráveis a perdas excessivas de solo em função do uso e cobertura da terra (considerando o quadro de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2009), e as 34 propriedades restantes apresentam-se com

perdas de solo dentro dos limites toleráveis. Entretanto, as 15 propriedades referidas recobrem 72% do total da área da bacia, como pode ser observado na espacialização das informações, na figura 41.



Figura 41: Propriedades que apresentam potencial a perda de solo intensificada pelo uso e cobertura da terra

Como pode ser observado, as propriedades mais susceptíveis concentram-se no setor centro – norte da bacia, coincidindo com as áreas mais sensíveis de elevadas taxas de PNE.

Os valores brutos de discrepância (não padronizados) obtidos pela modelagem, armazenados no BDG e dispostos em ordem crescente, foram interpretados como o potencial (intensidade) com que cada propriedade pode contribuir com o aporte de sedimento na área da bacia hidrográfica, como indicado na figura 42.

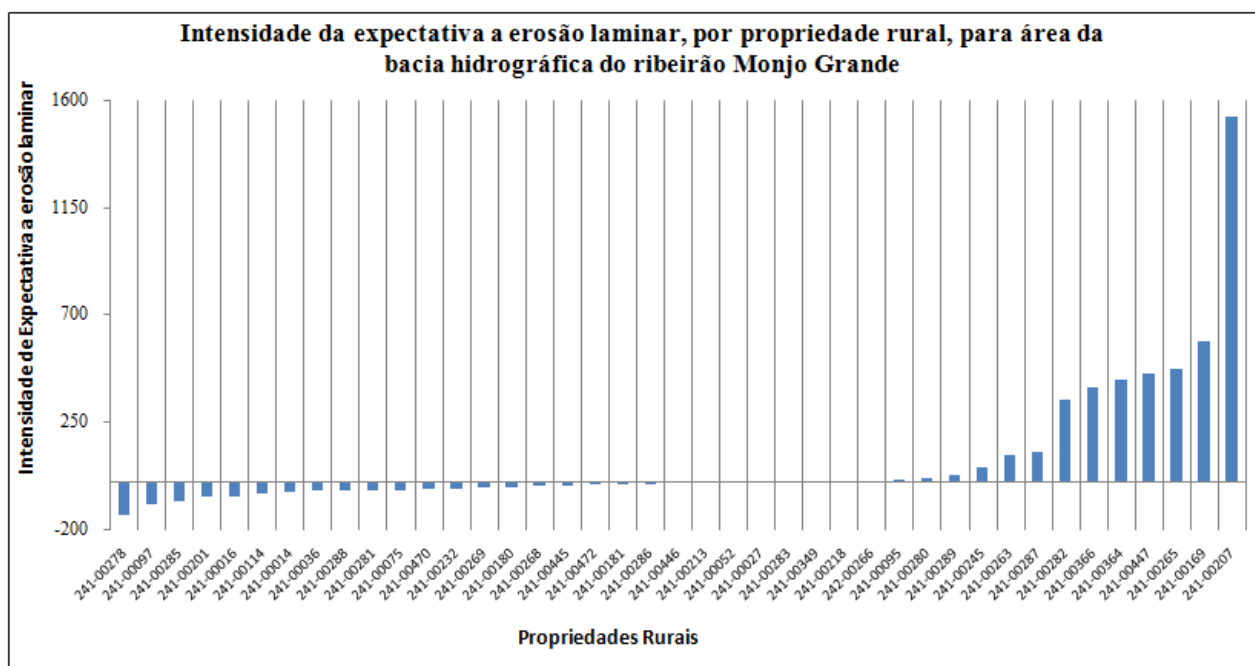


Figura 42: Intensidade a expectativa a erosão laminar por propriedade rural

Os valores indicados no gráfico de intensidade estão categorizados qualitativamente, dispondo as propriedades em ordem crescente quanto a expectativa a erosão, e não indicam qualquer estimativa quantitativa de material transportado pelo processo de erosão laminar. Espera-se assim, para cada propriedade, a manifestação de processos erosivos tanto mais possíveis e intensos quanto for a discrepância positiva observada.

Com base nas informações da intensidade da expectativa a erosão laminar, é possível indicar a propriedade 241-00207 como aquela que apresenta o maior potencial a contribuição de material sedimentar para o exutório da bacia. Esta propriedade se destaca por apresentar índice de expectativa a erosão maior que o dobro dos valores observados para as outras 14 propriedades que também apresentam excessivo potencial a perda de solo na bacia. As propriedades 241 – 282; 366; 364; 447; 265 e 169 compõem o grupo daquelas que contribuem significativamente para o aporte de sedimento.

Observa-se também que a intensidade dos valores negativos, ou seja, das propriedades que possuem perda de solo em níveis toleráveis, encontram-se praticamente no limite máximo de uso. A propriedade 241-00278 apresenta-se como a de menor potencial para contribuição de aporte de sedimento na bacia.

A comparação entre as distintas propriedades revela importantes informações. Uma breve avaliação sistêmica, contrapondo as propriedades 241-207 (de maior índice) e 241-278 (menor índice), conforme apresentado na figura 43, permite que algumas considerações sejam estabelecidas e generalizadas aos dois grupos de propriedades em termos de expectativa a erosão.

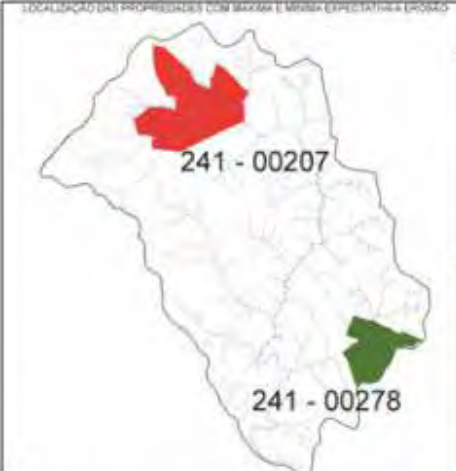
LOCALIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES COM MAIOR E MENOR EXPECTATIVA DE EROSOÃO	Propriedade	(LS)	(Q _{pp})	T	PNE	PRE	Exp. Erosão
	241-00207	0,0266	10468,90	7,7285	0,019	0,1068	1530,69
	241-00278	0,0230	9346,960	9,6305	0,002	0,0093	-139,608

Figura 43: Comparação dos parâmetros da MEUPS e produtos de síntese entre propriedades com expectativas de erosão laminar distintas

Primeiramente, observa-se que as propriedades localizam-se em setores opostos na bacia hidrográfica. A propriedade 241-00207, localizada no setor norte (que inclusive comporta alguns dos canais de primeira ordem formadores do ribeirão Monjolo Grande) apresenta relevos ondulados a forte ondulado (8 a 45% de declividade), com grau ao cultivo agrícola classificado como forte a muito forte. O fator topográfico (LS) é elevado (0,026) em função das altas declividades do setor, associada a valores de extensão de vertentes intermediário (em relação ao apresentado pela bacia). Uma topossequencia representativa, do topo em direção ao fundo de vale, indicaria a presença de Cambissolos, Argissolos e litossolos, grupos pedológicos de baixa tolerância a perda (7,72 MJ.mm/ha/ano) e que favorecem o escoamento superficial nas vertentes, sendo observado elevado valor de runoff (10468,90 m³/s). Diante o exposto, interrelacionando os condicionates do meio físico citados, e considerando a baixa tolerância dos solos, justifica-se o elevado PNE (aproximadamente 20 quilos/ha/dia¹⁶).

¹⁶ Um evento chuvoso de 24h

Em termos de uso da terra, esta propriedade apresenta o quadro típico da bacia. 38% de sua área é composta por vegetação natural, 68% apresenta-se com áreas de pastagens e pastagens degradadas e aproximadamente 8% de solo exposto. Importante destacar que as áreas mapeadas como solo exposto nesta propriedade devem-se exclusivamente a processos erosivos, pois não há áreas de preparo agrícola, sendo a pecuária sua principal atividade econômica.

Considerando o mesmo evento chuvoso utilizado para determinação do PNE, a perda de solo na vertente devido a influência dos fatores antrópicos descritos, é estimada em 100 quilos de solo/ha/dia, representando um incremento de 80 quilos por hectare em relação ao PNE. Como a área da propriedade equivale a 200ha, a estimativa de perda total se aproxima a 20 toneladas de perda de solo em um evento chuvoso extremo, determinando o elevado índice de expectativa a erosão laminar (1530,69).

Em condições oposta em termos de susceptibilidade a erosão, encontra-se a propriedade 241-00278, que apresenta índice negativo de expectativa a erosão laminar (-139,60). Localizada próximo ao exutório da bacia, predominam na área relevos planos a suaves ondulados (0 a 8% de declividade), caracterizando-se em áreas com grau de limitação ao cultivo agrícola de nulo a ligeiro. O valor médio do fator topográfico (LS) observado para esta propriedade (0,023¹⁷) é relativamente elevado se comparado à média (0,014) apresentada pelo grupo das propriedades de baixa expectativa a erosão (tabela 22). No entanto, o elevado fator topográfico deve-se aos extensos interflúvios (que no cálculo da MEUPS, quando associados a baixos valores de declividade, determinam o valor final do LS). Nestas condições de relevo, há presença de solos com alta tolerância a perda (média de 9,63 MJ.mm/ha/ano), como o grupo dos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, os quais favorecem o maior tempo de concentração da água no solo, maior infiltração e consequentemente menor deflúvio (runoff = 9346,94 m³/s).

Assim, o baixo valor do PNE (2 quilos/ha/dia) exprime bem a relação entre os fatores do meio físico, e justifica a baixa sensibilidade a erosão da área. Quando considerada a influência dos fatores antrópicos, representado pelo PRE em 9 quilos/ha/dia,

¹⁷ O elevado valor do fator topográfico para esta propriedade pode ser explicado pela presença de extensos interflúvios na área, que apesar dos baixos valores de declividade observados, a extensão de vertente se sobrepõe no cálculo do Fator LS.

observa-se o incremento de apenas 7 quilos de perda por hectare em relação ao PNE, que de acordo com o índice negativo da expectativa a erosão, indica que essa quantidade de solo está dentro do limite tolerável. Assim como a propriedade anterior, o quadro de uso da terra e cobertura vegetal da propriedade compõe-se predominantemente de vegetação natural e áreas de pastagens, 28 e 72% respectivamente, com pequena presença de cana (0,07%) e solo exposto (0,58%).

Comparando apenas os produtos de síntese, observa-se que a diferença entre os PNE é de 18 quilos/hectare/dia, mas quando comparada as perdas em função dos fatores antrópicos, a diferença entre as estimativas de PRE chega a 100 quilos/ha/dia.

No entanto, como observado na figura 33, as propriedades apresentam muita semelhança em termos de uso e cobertura da terra. De fato, os condicionantes antrópicos atuam como agentes intensificadores do processo erosivo, mas pode-se dizer que para esta bacia eles não representam o fator de maior influência na dinâmica de aporte de sedimento. Cabe assim às condições do meio físico explicar a discrepância dos valores de perda entre as propriedades, sendo a área da propriedade 241-00207, localizada no setor Norte da bacia, muito mais sensível a intervenção antrópica do que aquela localizada ao Sul.

A combinação entre os valores das variáveis observadas para as propriedades 241-00207 e 278, permite concluir que de modo geral eles se repetem às outras propriedades quando analisados os grupos de alta e baixa expectativa a erosão.

As tabelas 21 e 22 apresentam os valores médios dos Fatores Topográfico, Runoff, Tolerância; para os produtos de síntese PNE, PRE e Expectativa a Erosão obtidos para o restantes das propriedades.

Tabela 21: Valores médios das variáveis do modelo MEUPS; estimativas de PNE e PRE; e índice de expectativa a erosão para o grupos de propriedades com expectativa a erosão laminar positivo

Cod. LUPA	Expectativa positiva a erosão laminar hídrica						Produtos de síntese		
	Principais fatores condicionantes do processo de erosão laminar hídrica do solo			Expectativa positiva a erosão laminar hídrica			PNE*	PRE*	Expectativa a erosão*
	Fator Topográfico (LS)*	Fator Runoff (Qqp)*	Tolerância	Fator Topográfico (LS)*	Fator Runoff (Qqp)*	Tolerância			
241-00218	0,017	13864,9004	6,44851017	0,017	13864,9004	6,44851017	0,012044	0,0183	0,051272
242-00266	0,012	10278,5000	11,7755003	0,012	10278,5000	11,7755003	0,009837	0,0409	1,06093
241-00095	0,022	10426,2998	8,226799965	0,022	10426,2998	8,226799965	0,015322	0,0322	7,40083
241-00280	0,042	15752,5000	7,242680073	0,042	15752,5000	7,242680073	0,025278	0,0450	10,9811
241-00289	0,019	7774,2998	10,58100033	0,019	7774,2998	10,58100033	0,016339	0,0272	26,0991
241-00245	0,019	10589,9004	7,39700985	0,019	10589,9004	7,39700985	0,013910	0,0335	59,4732
241-00263	0,037	10999,2002	9,705120087	0,037	10999,2002	9,705120087	0,031606	0,0410	111,014
241-00287	0,024	6557,3799	8,830360413	0,024	6557,3799	8,830360413	0,020934	0,0294	121,098
241-00282	0,047	9373,2900	9,00592041	0,047	9373,2900	9,00592041	0,040265	0,0512	344,935
241-00366	0,026	11074,7002	5,428709984	0,026	11074,7002	5,428709984	0,024726	0,0368	393,456
241-00364	0,023	21433,5996	5,688580036	0,023	21433,5996	5,688580036	0,022578	0,0804	427,999
241-00447	0,014	10661,9004	9,581230164	0,014	10661,9004	9,581230164	0,012339	0,0758	453,18
241-00265	0,012	11729,5000	8,979310036	0,012	11729,5000	8,979310036	0,010556	0,3520	468,475
241-00169	0,058	7693,2100	9,219940186	0,058	7693,2100	9,219940186	0,049793	0,0491	588,572
241-00207	0,026	10468,9004	7,728579998	0,026	10468,9004	7,728579998	0,019520	0,1068	1530,69
média	0,0265	11245,205	8,38928347	0,0265	11245,205	8,38928347	0,021	0,068	302,9657

Tabela 22: Valores médios das variáveis do modelo MEUPS; estimativas de PNE e PRE; e índice de expectativa a erosão para o grupos de propriedades com expectativa a erosão laminar negativa

Cod. LUPA	Expectativa negativa a erosão laminar hídrica									
	Principais fatores condicionantes do processo de erosão laminar hídrica do solo					Produtos de síntese				
	Fator Topográfico (LS)*	Fator Runoff (Qqp)*	Tolerância	PNE.*	PRE.*	Expectativa a erosão*				
241-00349	0,006	13918,0000	14,19999981	0,0018	0,0713	-0,42648				
241-00283	0,003	10314,9004	14,19999981	0,0010	0,0384	-1,33598				
241-00027	0,005	6907,9902	14,00629997	0,0026	0,0028	-2,41639				
241-00052	0,010	8548,3604	10,33440018	0,0093	0,0119	-6,12077				
241-00213	0,016	7405,9502	9,072779655	0,0146	0,0061	-6,62062				
241-00446	0,009	7795,3198	13,96329975	0,0077	0,0242	-9,35425				
241-00286	0,013	6401,4902	13,77560043	0,0094	0,0238	-11,7962				
241-00181	0,011	1719,1200	14,19939995	0,0033	0,0024	-13,528				
241-00472	0,013	7357,7900	14,04759979	0,0067	0,0253	-14,1198				
241-00445	0,015	8718,9902	6,922039986	0,0145	0,0090	-16,5768				
241-00268	0,014	8457,0303	11,70540047	0,0122	0,0142	-18,2892				
241-00180	0,016	6130,9902	9,600190163	0,0136	0,0078	-23,4285				
241-00269	0,014	6833,1401	12,31569958	0,0128	0,0070	-26,5093				
241-00232	0,016	6700,6001	12,31169987	0,0143	0,0125	-32,2888				
241-00470	0,006	2376,1001	10,19999981	0,0028	0,0143	-34,0057				
241-00075	0,017	13035,0000	9,262680054	0,0148	0,0230	-35,2563				
241-00281	0,022	14726,4004	7,392920017	0,0152	0,0206	-35,591				
241-00288	0,016	9954,7598	11,23079967	0,0115	0,0138	-36,0765				
241-00036	0,016	6103,6099	9,120820045	0,0144	0,0025	-40,3789				
241-00014	0,014	8516,7402	9,902119637	0,0127	0,0159	-44,9419				
241-00114	0,016	8490,5000	11,39550018	0,0143	0,0107	-50,4543				
241-00016	0,019	8442,4805	9,900989532	0,0145	0,0051	-63,8794				
241-00201	0,020	8859,3301	6,614319801	0,0194	0,0108	-67,2086				
241-00285	0,024	9764,4902	9,231749535	0,0216	0,0263	-83,4964				
241-00097	0,018	8107,0298	10,65970039	0,0136	0,0142	-95,5172				
241-00278	0,023	9346,9600	9,630530357	0,0230	0,0093	-139,608				
Média	0,014	8266,6567	10,9690976	0,011	0,016	-34,9702				

A análise conjunta das propriedades segundo a expectativa a erosão laminar, permite estabelecer um diagnóstico preciso para bacia. Desta forma, pode-se afirmar que a perda de solo estimada para as propriedades que apresentam expectativa a erosão laminar negativa, tem, em média, um acréscimo de 5 quilos de perda de solo/ha/dia devido ao uso da terra. Já as propriedades que pertencem ao grupo de expectativa a erosão laminar positivo, apresentam, em média, um acréscimo de 47 quilos/ha/dia.

Deve-se ter o cuidado ao associar à expectativa a erosão laminar apenas o uso agrícola das terras, uma vez que nestas informações estão sintetizados os valores das classes temáticas de uso da terra e cobertura vegetal, na qual considerou-se também as áreas compostas por vegetação natural. Em campo, a probabilidade de uma área densamente coberta por formações vegetais nativas de grande porte apresentar valores de expectativa a erosão laminar positivos é pequena, contudo, considerando os cálculos intrínsecos a modelagem da MEUPS, se a parcela de terra apresentar uma combinação de elevados valores de fator topográfico (LS), com elevado *runoff* (Q_{qp}), presença de solos de baixa tolerância, este fato poderá ser observado, como observado na propriedade 241 – 00364, que apresenta valores positivos de expectativa a erosão laminar, apesar de se configurar numa propriedade em que há o predomínio de formações vegetais nativas recobrando o Morro da Guarita (formação residual de acentuada declividade e presença de solos litólicos e câmbicos).

6.5 Apreciação dos resultados e avaliação da hipótese de trabalho

Diante os resultados apresentados pelas estimativas de PRE e Expectativa a erosão laminar para cada propriedade, e tendo em vista o planejamento territorial com foco em sua gestão, torna-se equivocado avaliar as perdas de solo com base em um cenário simulado por um único valor médio anual de chuvas, pois as manobras de gestão, os recursos financeiros previstos e as providências devem acompanhar a dinâmica espacial e temporal do fenômeno erosivo, para que os esforços de manutenção do equilíbrio ambiental e a produtividade da prática agrícola sejam otimizados.

Deve-se destacar novamente que o modelo MEUPS fornece informações quantitativas referente a um evento chuvoso de 24h, ou seja, os valores representam a perda total ocorrida ao final de um dia. No entanto, para estimar a perda média para um mês, seria equivocado multiplicar tal valor pelo número de dias, uma vez que neste trabalho se considerou o volume de chuva estimado para um evento extremo. Apesar da MEUPS ter apresentado (para esta bacia) limitações na simulação com pequenos volumes de chuva, extrapolar os valores médios diários de chuva para intervalos temporais mais expressivos poderiam condicionar o mesmo equívoco observado para o PRE do mês de Agosto. Assim, deve-se ressaltar a capacidade da MEUPS em fornecer informações espaciais pontuais, fundamentais enquanto subsídio a determinação de estratégias de planejamento capazes de aliar, dentro da resiliência do sistema ambiental, o uso agrícola das terras às condições do meio físico, mesmo na presença de eventos climáticos extremos.

Diante os resultados apresentados, e analisando as informações além do exposto pela modelagem, entende-se que cada propriedade rural expressa-se como uma parcela de terra independente no contexto de uma bacia hidrográfica, no sentido em que os aspectos sociais e históricos são peculiares e restritos a cada uma delas. Assim, torna-se nítido na paisagem a marca individual de cada propriedade. Esta marca é observada indiretamente pelas condições em que se expressam a vegetação, a agricultura e as condições superficiais do terreno, como a presença, ou não, de processos erosivos intensificados, consequência atribuída ao modo com que cada proprietário gere a sua parcela de terra.

Portanto, retomando a hipótese inicial desta pesquisa, em que o “processo de erosão dos solos, pela ação do escoamento superficial das águas pluviais, pode ser condicionado, também, pelo parcelamento das vertentes, resultante da ocupação agrícola das terras, no contexto das diferentes propriedades rurais contidas em uma bacia hidrográfica”, pode-se sentenciá-la como afirmativa.

Cartograficamente pode-se entender que a hipótese foi expressa pelas propriedades rurais confrontantes (contigüidade espacial em termos de bacia hidrográfica), em áreas em que as condições do meio físico são equivalentes, mas que apresentaram ao longo do ano diferenças abruptas dos valores de PRE e Expectativa a erosão laminar.

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As informações expostas nesta pesquisa tornam-se relevantes para o manejo agrícola da bacia hidrográfica no sentido que permite elencar as áreas prioritárias a intervenção a curto prazo, e principalmente, para a definição de um planejamento integrado (a longo prazo) entre as propriedades, de modo que as áreas mais susceptíveis aos processos erosivos, e mais sensíveis ao manejo agrícola, sejam “protegidas” pelo planejamento das propriedades de entorno. Entende-se que para que esse ideal não se encerre como utópico, é preciso primeiramente que aqueles que de fato gerenciam a terra, o proprietário rural, conscientizem-se de que os problemas ambientais não se restringem aos limites de sua propriedade. Neste tema caberiam discussões sobre a necessidade de descentralização das informações cadastrais aos órgãos responsáveis pelo planejamento territorial.

Importante também salientar que a melhora da precisão das estimativas de perda de solo esbarram na falta de informações atualizadas de bases cartográficas, visto que os acervos são compostos, em grande parte, por produtos da década de 1969 e 1979 (IGC e IBGE). A falta de maiores informações de cotas altimétricas, por exemplo, comprometem a modelagem do terreno, e conseqüentemente, compromete a qualidade das informações topográficas derivadas.

A mesma limitação é observada em relação aos mapas pedológicos, uma vez que os valores de tolerância a perda de solo para área de estudo serão tão precisos quanto for o grau de detalhe apresentado pela carta pedológica. Desta forma, os esforços na extração e obtenção de dados geomorfométricos precisos pode ser descartado quando o restante das informações temáticas que alimentam o modelo não forem equivalentes em termos de detalhe, pois haverá generalização das estimativas de perda de solos na ordem da menor escala cartográfica utilizada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim IGC**, São Paulo, n. 41, p. 169-263, 1964.

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.

AQUINO, L.H.M. de. **Análise de parâmetros biofísicos para indicação de áreas de risco de erosão através de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas**: o exemplo de uma sub-bacia de contribuição do reservatório de Peti (MG). 2002, x f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - PUCMinas, Belo Horizonte, 2002.

ASSIS, A. F. **Conservação do solo**. Campinas: CATI, 1976.

BARROW, C. J. **Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994

BERTONI, J; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1972 (Circular 20).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Editora Ceres, 1985.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993.

BRAUN, W. A. G. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 591-642, 1961.

BROW, D.J. A historical perspective on Soil-Landscape Modeling. In: GRUNWALD, S.. **Environmental Soil-Landscape Modeling: Geographic Information Technologies and Pedometrics**. Taylor and Francis Group.

CARSON, M.A. **The mechanics of erosion**. London: Pion Limited, 1971.

CASTRO, A.G. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas**.1992. 145 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1992.

CASTRO, C.D.; ZOBECK, T.M. Evolution of the topographic factor in the Universal Soil Loss Equation on irregular slopes. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 41, n.2, p. 113-116, 1986.

CEAPLA/UNESP. **Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí**. Rio Claro: CEAPLA/IGCE/Unesp, 2001. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas.swf>> Acesso em: 20 jan. 2010.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica**, São Paulo: McGraw Hill, 1972.

CHAVES, H.M.L. Análise Global da sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p.345-350, 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHORLEY, R. J. HAGGET, P. Modelos físicos e de informações em Geografia. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975.

CUNHA, C. M. L. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária**. 1997. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CUNHA, C. M. L. **A Cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DEMATTÊ, J. A. M. . Characterization and discrimination of soils by their reflected electromagnetic energy. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1445-1458, 2002.

DEMATTÊ, J. A. M. ; MARCONDES, André ; SIMÕES, Maurício dos Santos . Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: laboratorial e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 28, n. 5, p. 877-889, 2004^a.

DEMATTÊ, J. A. M. et al. Comportamento espectral de um latossolo amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 16, n. 2, p. 105-112, 2004b.

DEMATTÊ, J. A. M. ; GALDOS, Marcelo Valadares ; GUIMARÃES, Rodrigo Vellardo ; GENÚ, Aline Marques ; NANNI, Marcos Rafael ; ZULU, Jurandir . Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 257-275, 2007.

DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para o planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. Campinas: **Documentos IAC**,v. 29, p. 91-119,1992. Fiz como periódico

DONZELI, P.L.; PINTO, S.A.F.; LOMBARDI NETO, F.; VALÉRIO FILHO, M.; VALÉRIANO, M.M. Modelo MUSLE e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo de pequenas bacias hidrográficas. Campinas, Resumos, **X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água**, p. 140, 1994.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

ESRI. How Topo To Raster (3D Analyst) works. In: _____. **ArcGIS Desktop help**. Disponível em: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Topo%20to%20Raster%20\(3D%20Analyst\)%20works](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Topo%20to%20Raster%20(3D%20Analyst)%20works)>. Acesso em: 07 de jun. 2009.

FACINCANI, E. M. **Influência da estrutura tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro, SP**. 1995. 124 f. Proposta de reabilitação e aspectos jurídicos-institucionais correlatos. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e Cuestas Arenito-Basálticas: Regiões de São Carlos, São Paulo e Piracicaba**. 2000. Tese. 222 f. (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. A framework for land evaluation. **Soils Bulletin** n.32, 1995.

FLORENZANO. T. G. **Geomorfologia - Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORES, M.X. Uso agrícola do solo: principais tipos de solos, potencial de utilização e impactos ambientais. In: QUEIROZ, T. A. (Org). **Análise ambiental: estratégias e ações**. Rio Claro: Editora LTDA, 1995.

FREIRE, O. Uso agrícola do solo: impactos ambientais. In: QUEIROZ, T. A. (Org.) **Análise ambiental: estratégias e ações**. Rio Claro: Editora LTDA, 1995.

FULFARO, V. J.; SUGUIO, K. A Formação Rio Claro (Neo-cenozóico) e seu ambiente de deposição. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n.20, p.45-60, 1968.

FULFARO, V. J.; BARCELOS, J. H. Movimentação vertical e evolução da Depressão Periférica e a Escarpa da Serra geral em São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1, Rio de Janeiro, **Boletim...** Rio de Janeiro: SBG, 1989. p. 109-110.

FUSSELL, J., RUNDQUIST. On Defining Remote Sensing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52 n. 9, p.1507-1511, 1986

GALVAO, L. S. ; FORMAGGIO, A. R. ; COUTO, E. G. ; ROBERTS, D. A. Estudo das relações entre tipos de solos, alteração, mineralogia e topografia por sensoriamento remoto hiperespectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 2007, Florianópolis (SC). **Anais ...** São José dos Campos (SP) : INPE/MCT , 2007. p. 6453-6460.

HADLEY, R.F.; LAL, R; ONSTAD, C.A. WALLING, D.E.; YAIR, A. **Recent developments in erosion and sediment yield studies**. Paris: Unesco, 1985

HUGGET, R. J. **Earth surfaces systems**. Berlim: Springer Verlag, 1985.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS. **Plano Diretor**: conservação dos recursos hídricos por meio da recuperação e da conservação da cobertura florestal da bacia do rio Corumbataí. Piracicaba: IPEF; ESALQ; SEMAE, 2001.

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

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - bacia do Peixe - Paranapanema. São Paulo, **IPT- Relatório Técnico** n.23, p. 739, 1986.

JAPIASSU, H. **O mito da neutralidade científica**. Rio de Janeiro: Imago, 1991

JOLY, F. **A Cartografia**. Campinas: Papirus, 2003.

LANDIM, P. M. B. **O grupo Passa Dois (P) na Bacia do rio Corumbataí (SP)**. 1967. 98 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1967.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação, 2ª imp. rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LIMA, E.R.V. **Análise espacial de indicadores da erosão do solo através de técnicas estatísticas e de geoprocessamento, com apoio do modelo EUPS**. 2000. 296 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

LOMBARDI NETO, F, PINTO, S.A.F.; DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; VALERIANO, M. M. Análise comparativa da aplicação dos modelos MUSLE e USLE, com o suporte de técnicas de geoprocessamento. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis. **Anais...**Campinas: SBCS, 1994. p. 127.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**.2002, 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz – ESALQ/ USP, Piracicaba, 2002.

MAEDA, E. E. **Influencia das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na região da Bacia do Alto Rio Xingu**. 2008. 102 f Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2008.

MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

MORETTI, L.R. **Avaliação da erosão superficial em pequenas bacias hidrográficas rurais**. 2001. 128p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

MORETTI, L.R. e LOBO, G.A. Medição e avaliação da erosão superficial no Ribeirão dos Marins (Piracicaba-SP). In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. 5, 2002, SÃO PAULO. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2002.

MORGAN, K.M.; NALEPA, R. Application of aerial photographic and computer analysis to the USLE for areawide erosion studies. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 37 n. 6, p. 347-350, 1982.

OLIVEIRA, A. M. M. **Análise da dinâmica do uso da terra: estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João (SP)**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

OLIVEIRA, A. M. M. **Aplicação de geotecnologias e do modelo EUPS como subsídio ao planejamento do uso da terra: estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis -SP**. 2004. 114 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F. Aplicação de geotecnologias e modelo predictivo como subsídio ao planejamento de uso da terra em uma microbacia hidrográfica. In:

LOMBARDO, M.A; MENDES. A. A. (Orgs.). **Paisagens geográficas e desenvolvimento territorial**. Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia e AGETEO, 2005.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE/CNPq/FAPESP, 2007.

PENTEADO, M. M. Implicações tectônicas na Gênese das Cuestas da Bacia de Rio Claro. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v.8, n15, p.19-41, 1968.

PEREIRA, L. H.; PINTO, S. A. F. Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí – SP, com o suporte de sistemas de informações geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 13, 2007, Florianópolis – SC. **Anais...** São José dos Campos - SP: INPE, 2007. p. 1321-1328.

PIKE, R. J. **A bibliography of terrain modeling (geomorphometry), the quantitative representation of topography-supplement**. Menlo Park, CA: USGS, 2002. Disponível em: <<http://wrgis.wr.usgs.gov/openfile/of02-465/>> Acesso em: 24 de mai 2009.

PINO, Francisco Alberto; AL., et; **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 1997** . São Paulo: SAA/CATI/IEA, 1997.

PINTO, S. A. F. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do Estado de São Paulo. 1983..** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1983

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão de solos: contribuição metodológica**. 1991. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

PINTO,S.A.F. **Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo**.1996, 136 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

PINTO, S. A. F. KOHLER, H.C.; AQUINO, L. H. M. de; PELLEGRIN, L. A.; BORTOLOZZI, A. Caracterização de indicadores da erosão do solo na bacia do rio Pará (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, 2002, Ouro Preto. **Anais...** Belo Horizonte, 2002, p. x-x.

PRADO, H.; OLIVEIRA, J.B & ALMEIDA, C.L.A. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. Escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônomo, 1981.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK , K. J. **Sistema de Avaliação da aptidão Agrícola das terras**. Rio de Janeiro: Embrapa –CNPS, 1995.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, FAPESP, 1997.

SACHS, I. **Gestão negociada e contratual da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2000.

SANCHES, I. A. ; EPIPHANIO, J. C. N. ; FORMAGGIO, A. R. . Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo (SP), v. 52, n. 01, p. 83-96, 2005.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVA, V.C. **Estimativa da erosão atual, erosão potencial e do aporte de sedimentos na bacia do rio Paracatu – MG/GO/DF**. 2001, 108 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

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.

SOUSA, M. O. L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia** - Centro do Estado de São Paulo. 2002, 206 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

SOUSA JUNIOR, J. G. A; DEMATTE, J. A. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, feb. 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100043&lng=es&nrm=iso>. acessado em 30 jun. 2009. doi: 10.1590/S0100-06832008000100043.

SOUTO, A. R. CRESTANA, S. Identificação das áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnica de SIG em uma microbacia hidrográfica. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.4, n.3, p.429-435, 2000.

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

SPAVOREK, G.; LEPSCH, I.F. Diagnóstico de uso e aptidão das terras agrícolas de Piracicaba. In: QUEIROZ, T. A. (Org.). **Análise ambiental: estratégias e ações**. Rio Claro: Editora LTDA, 1995.

STRAHLER, A.N. Quantitative slope analysis. **Bulletin of the Geological Society of America**, Cidade, v. 67, p. 571-596, 1956.

TODT, V. ; RUBERT, C. ; SILVA, J. D. S. ; FORMAGGIO, A. R. ; SHIMABUKURO, Y. E. Classificador adaptativo para o reconhecimento de alvos em imagens CCD/CBERS. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, p. 293-303, 2006.

TOY, T.J. **Introduction to the erosion process**. Geo Abstracts, 12:7-18, 1977.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Introduction à la Géomorphologie Climatique**. Paris: Société d'Éditions d'Enseignement Supérieur, 1956.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, 8 (15): 5-18, jun.,1968.

TUCCI, C. M. I. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 4. Porto Alegre: Editora da Universidade/Edusp/ABRH, 2000.

U.S.D.A. SOIL CONSERVATION SERVICE. **Guide for soil conservation surveys**. Washington: U.S.D.A., 1948.

VALERIANO, M. M.; MORAES, J. F. L. Extração de rede de drenagem e divisores por processamento digital de dados topográficos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. 1CD. p. 1-8

VALERIANO, M. M. Mapeamento do comprimento de rampa em microbacias com sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum** (UEM), Maringá - PR, v. 24, n. 5, p. 1541-1551, 2002a.

VALERIANO, M. M. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. **Espaço e Geografia (UnB)**, Brasília-DF, v. 5, n. 1, p. 69-85, 2002b.

VALERIANO, M. M. . Mapeamento da declividade em microbacias com sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v. 7, n. 2, p. 303-310, 2003.

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

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia -GO. **Anais ...** São José dos Campos - SP : INPE,2005. p. 1-8.

VALERIANO, M. M. Visualização de imagens topográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis - SC. **Anais...** São José dos Campos - SP : INPE, 2007. p. 1-8.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

VEIGA FILHO et al. Análise de investimentos em adoção de tecnologias e conservação do solo no estado de São Paulo. **Agricultura em São Paulo-SP**, São Paulo –SP, v. 39, n.1, p.133-154, 1992 Disponível em <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=1183>> Acesso em: 02 set. 2007.

VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais**. 2. Ed. São Paulo: Editora Agronômica CERES LTDA, 1988.

WANG, G.et al.. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM Images and a slope map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, n. 8, 2003, p. 889-898.

WILLIAMS, J.R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: **Present and perspective technology for predicting sediment yields and sources**. US Dept of Agriculture Publ. ARS-540, p. 244-252, 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook n.537. Washington: US Department of Agriculture, 1978.