

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE
MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO E EXPECTATIVA DE
EROSÃO NA MICROBACIA CÓRREGO DO TIJUCO – SP.**

Christiano Luna Arraes

Orientadora: Profa. Dra. Célia Regina Paes Bueno

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Junho de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CHRISTIANO LUNA ARRAES – nasceu em 16 de julho de 1975 em Crato – CE, sendo filho de Marcondes Arraes da Cruz e Maria Vilani Luna Cruz. Coursou o primário e o primeiro grau no Instituto Cysnelândia, Crato - CE, o segundo grau no Colégio Contato – Recife – PE. Graduou-se em Engenharia Agrônômica em 2007 pela Universidade Federal de Viçosa – MG (UFV). Vem desenvolvendo projetos de manejo integrado de microbacias hidrográficas, perda de solo em bacias hidrográficas, Sensoriamento remoto como ferramenta para auxiliar na tomada de decisão para planejamentos agroambientais.

SUMÁRIO

TABELAS E FIGURAS.....	ix
TÍTULO E RESUMO.....	xi
KEYWORDS	xii
I – INTRODUÇÃO	1
II – REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Fator Erosividade da Chuva (R)	4
2.2 Matéria Orgânica do Solo	5
2.3 Fator Erodibilidade do Solo (K)	6
2.4 Fator Topográfico (LS).....	7
2.5 Fator Cobertura Vegetal e Manejo (C)	9
2.6 Fator Prática Conservacionista (P).....	10
2.7 Potencial Natural de Erosão (PNE)	11
2.8 Perda de Solo Atual (A)	11
2.9 Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto	13
III – MATERIAL E MÉTODO	14
3.1 Caracterização da Área de Estudo	14
3.2 Material	16
3.2.1 Base Cartográfica	16
3.2.2 Equipamentos	17
3.3 Metodologia	17
3.3.1 Elaboração do Mapa Base	17
3.3.2 Plano Amostral e Georreferenciamento dos Locais de Amostragem	19
3.3.3 Análises Físicas e Químicas do Solo	20
3.3.4 Perda de Solo na Microbacia Córrego do Tijuco – SP	20
3.3.4.1 Fator Erosividade da Chuva (R)	21
3.3.4.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)	22
3.3.4.3 Fator Topográfico (LS)	23
3.3.4.4 Potencial Natural de Erosão (PNE)	27
3.3.4.5 Fator Uso e Manejo do Solo (C)	28
3.3.4.6 Fator Prática Conservacionista (P).....	30
3.3.4.7 Perda de Solo da Microbacia Córrego do Tijuco – SP (A).....	31
3.3.4.8 Expectativa de Erosão (EE)	31
IV – RESULTADO E DISCUSSÃO	33
4.1 Fator Erosividade da Chuva (R)	33
4.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)	37
4.3 Fator Topográfico (LS)	41
4.4 Potencial Natural de Erosão (PNE).....	45
4.5 Fator Uso e Manejo do Solo (C)	49
4.6 Fator Prática Conservacionista (P)	51
4.7 Perda de Solo Atual (A)	53
4.8 Expectativa de Erosão (EE)	58
V – CONCLUSÕES.....	61
VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

VII – APÊNDICE	74
----------------------	----

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Uso e ocupação do solo na Microbacia Córrego do Tijuco, SP	16
Tabela 2. Fator Uso e Manejo do Solo (C)	29
Tabela 3. Áreas correspondentes a cada classe de erosividade da chuva para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	36
Tabela 4. Áreas correspondentes a cada classe da erodibilidade do solo para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP, segundo classificação de Bertoni & Lombardi Neto (1999)	40
Tabela 5. Classes de declividade da Microbacia Córrego do Tijuco, SP	42
Tabela 6. Classes de ocorrência do fator topográfico definidas por Bertoni & Lombardi Neto (1999) e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	43
Tabela 7. Classes de ocorrência do potencial natural de erosão definidas por Bertoni & Lombardi Neto (1999) e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	48
Tabela 8 – Coeficientes de correlação e determinação entre os planos de informação de PNE, Erosividade (R), Erodibilidade (K) e Fator topográfico (LS)	48
Tabela 9 – Coeficientes de correlação e determinação da regressão múltipla para os dados originais de PNE	49
Tabela 10. Fator praticas conservacionistas e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	53
Tabela 11. Classes da ocorrência da perda de solo atual definidas por Bertoni & Lombardi Neto (1999) e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	56
Tabela 12 – Coeficientes de correlação e determinação entre a perda de solo (A) e os planos de informação erosividade (R), erodibilidade (K), fator topográfico (LS), cobertura vegetal (C) e prática conservacionistas (P)	57
Tabela 13 – Coeficientes de correlação e determinação da regressão múltipla para os dados originais da perda de solo (A)	58
Tabela 14. Estatística descritiva para a variável erosividade da chuva (R, MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹).....	74
Tabela 15. Modelo e parâmetros estimados nos semivariogramas experimentais ajustados para a variável erosividade da chuva (R, MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹).....	74
Tabela 16. Estatística descritiva para a variável erodibilidade do solo (K, Mg.ha.h/ha.MJ.mm).....	75
Tabela 17. Modelos e seus parâmetros estimados para o semivariograma experimental para a variável erodibilidade do solo (K, Mg.ha.h/ha.MJ.mm).....	76

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Microbacia Córrego do Tijuco, SP	14
Figura 2. Mapa de Solos da Microbacia Córrego do Tijuco, SP	15
Figura 3. Área de estudo: limite e hidrografia	18
Figura 4. Fluxograma para a elaboração do Mapa Base	18
Figura 5. Locais de amostragem do solo na Microbacia Córrego do Tijuco, SP.....	19
Figura 6. Fluxograma para o cálculo da Perda de Solo (A), Microbacia Córrego do Tijuco, SP	21
Figura 7. Mapa do comprimento médio de rampa de cada área de contribuição hídrica, para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	25
Figura 8. Fluxograma para a elaboração do mapa comprimento médio de rampa (C) para cada área de contribuição hídrica	25
Figura 9. Fluxograma para elaboração do mapa de declividade (D) em porcentagem.	26
Figura 10. Fluxograma para obter o fator topográfico (LS)	27
Figura 11. Fluxograma do plano de informação Potencial Natural de Erosão (PNE)....	28
Figura 12. Imagem orbital da área de estudo, Microbacia Córrego do Tijuco, SP	29
Figura 13. Fluxograma para obter o fator uso e manejo do solo (C)	30
Figura 14. Fluxograma para obter o fator prática conservacionista... ..	31
Figura 15. Mapa da Erosividade da Chuva para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP..	35
Figura 16. Mapa da Erodibilidade do Solo para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP ..	38
Figura 17. Erosão laminar e em sulcos (A) e voçoroca (B) em área de plantio de cebola na Microbacia Córrego do Tijuco, SP	41
Figura 18. Mapa da Declividade para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	42
Figura 19. Mapa do Fator Topográfico para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.....	44
Figura 20. Mapa do Potencial Natural de Erosão para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	47
Figura 21. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Microbacia Córrego do Tijuco, SP...	50
Figura 22. Mapa do Fator Práticas Conservacionistas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP	52
Figura 23. Mapa da Perda de Solo para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.....	55
Figura 24. Mapa da Expectativa de Erosão para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.	59
Figura 25. Semivariograma ajustado ao resíduo do fator erosividade da chuva (R, MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹), (C ₀ ; C ₀ + C ; Ao, R ² , RSS); C ₀ = efeito pepita; C ₀ + C ₁ = patamar; Ao = alcance, R ² = Coeficiente de determinação, RSS = Soma dos quadrados dos resíduos.....	75
Figura 26. Semivariograma ajustado ao resíduo do fator erodibilidade do solo (K, Mg.ha.h/ha.MJ.mm), (C ₀ ; C ₀ + C ; Ao, R ² , RSS); C ₀ = efeito pepita; C ₀ + C ₁ = patamar; Ao = alcance, R ² = Coeficiente de determinação, RSS = Soma dos quadrados dos resíduos.....	76

ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO E EXPECTATIVA DE EROSÃO NA MICROBACIA CÓRREGO DO TIJUCO – SP.

RESUMO - A microbacia Córrego do Tijuco situa-se no noroeste paulista, domínio do Planalto Ocidental Paulista, unidade geomorfológica sustentada por rochas sedimentares, arenitos da formação Adamantina e Marília, Grupo Bauru. Na área ocorrem duas classes de solo os Latossolos Vermelhos distróficos (LVd), e Argissolos Vermelho-Amarelos eutrófico (PVAe). Os atributos do meio físico natural indicam grande predisposição dos terrenos à erosão. Portanto, o estudo tem como objetivo estimar as taxas atuais de perda de solo e expectativa de erosão na microbacia Córrego do Tijuco – SP. A área de estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas, longitude 45°19'50" e 48°27'26" W Gr, e latitudes 21°18'10" e 21°12'53"S, com aproximadamente 8008 ha. Os métodos utilizados foram baseados nas interações entre os condicionantes do meio físico considerados na EUPS, por meio dos fatores naturais – erosividade das chuvas (R), erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS), consubstanciando a definição do potencial natural de erosão – e dos fatores antrópicos, por meio do uso e ocupação atual, definindo diferentes níveis de expectativa de erosão. Técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, geoestatísticas e trabalhos de campo foram essenciais na condução do trabalho, permitindo compartimentar áreas de comportamento semelhantes quanto ao processo erosivo. Os resultados revelaram que o processo de degradação dos solos é acentuada, com valores de perda de solo superiores a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, e que para 6558 ha há expectativas de erosão positivas indicando as condições nas quais a ocupação está incrementando a área quanto aos processos erosivos.

Palavras-Chave: Equação Universal de Perda de Solo, Erosão, Planejamento Ambiental, Sistema de Informação Geográfica

ESTIMATE OF THE LOSS OF LAND AND EXPECTATION OF EROSION IN THE TIJUCA CREEK WATERSHED - SP.

SUMMARY - The Tijuco's Creek watershed is located in northwestern São Paulo, Paulista West area of Plateau, geomorphological unit supported by sedimentary rocks, sandstones and training Adamantina Marília, Bauru Group. In the area they happen two soil classes Oxisol and Ultisol. The attributes of the physical nature of the land indicate high susceptibility to erosion. Therefore, the study aims to estimate the current rate of loss of expectation of soil erosion and watershed in the Stream Tijuco - SP. The study area is located between the geographical coordinates, longitude 45 ° 19'50 "and 48 ° 27'26" W Gr, and latitudes 21 ° 18'10 "and 21 ° 12'53" S, with approximately 8,008 ha. The methods used were based on interactions between the constraints of the physical environment considered in EUPS by means of natural factors - the rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), topographic factor (LS), embodies the definition of the natural potential of erosion - and anthropogenic factors, through the actual use and occupation, defining different levels of expectation of erosion. Techniques of GIS, remote sensing, and field work geostatísticas methodological procedures were essential in conducting the work, which led off areas of similar behavior on the erosion process. The results showed that the process of degradation is pronounced, with values of soil loss of more than 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹st, and gives expectations for 6558 ha of erosion positive indicating the conditions under which the occupation is increasing the area on the erosion processes and the need to map out measures to minimize the processes that govern the loss of soil.

Keywords: Erosion, Geographic Information System, Universal Equation of Loss of Soil, Environmental Planning.

I. INTRODUÇÃO

O contato do homem com o meio ambiente, principalmente o meio agrícola, causa impactos que muitas vezes são difíceis de serem solucionados ou mesmo contornados, dentre estes impactos podemos citar atividades de desmatamentos, queimadas, práticas agrícolas perniciosas, atividades extrativistas agressivas, lançamento de esgotos industriais e domésticos nos rios e lagos e as ocupações urbanas desordenadas levando a impermeabilização dos solos.

A falta de planejamento e de gestão dos recursos naturais no Estado de São Paulo vem apresentando sérias consequências em decorrência do uso indiscriminado de áreas ribeirinhas devido à destruição das matas ciliares levando ao assoreamento dos rios. Por outro lado, a implantação de grandes projetos agrícolas, que vem ocupando extensas áreas de terras no estado de São Paulo tem se configurado como uma das principais causas de aumento da degradação dos recursos naturais. Para uma avaliação adequada destes impactos deve-se preferencialmente adotar microbacias como unidade de estudo.

A bacia hidrográfica é compreendida como um sistema geomorfológico drenado por cursos de água ou por um sistema de canais conectados que convergem, direta ou indiretamente, para um rio principal ou para um espelho de água BRASIL, (1987), constituindo-se, assim, em uma unidade sistêmica ideal para o planejamento do manejo integrado dos recursos naturais BERTONI & LOMBARDI NETO, (1999). Entender a microbacia como unidade a ser conservada é fundamental para minimizar os processos erosivos que ocorrem nestas unidades de conservação.

A erosão que é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela água e pelo vento BERTONI & LOMBARDI NETO, (1999). Constitui-se sem dúvida, na principal causa do depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficam retidas sobre a superfície, ou não se infiltram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução, outras vezes, esse transporte de

partículas também pode ocorrer por ação do vento. Nos locais onde ocorrem os processos erosivos, verifica-se a perda da capacidade produtiva, devido à remoção dos horizontes superficiais SOUTO & CRESTANA, (2000).

A perda de solo no Brasil é de 500 milhões de toneladas e, no Estado de São Paulo é de aproximadamente 125 milhões de toneladas MARQUES, (1949), principalmente devido a ocupação de formas diferenciadas tendo como consequência graus variados de degradação ambiental.

Com o incremento da produção de álcool, incentivado pela política econômica, as áreas agricultáveis cedem espaço à expansão das lavouras de cana-de-açúcar, sem respeitar as características do meio ambiente. Assim, se faz necessário um estudo regional de perda de solo a fim de incentivar práticas conservacionistas na condução do sistema agrícola tendo como finalidade minimizar o processo erosivo e os impactos ambientais no contexto de bacias hidrográficas.

Técnicas recentes como o geoprocessamento, sensoriamento remoto e a geoestatística aplicadas a informações obtidas em condição de campo e em laboratório permitem inferir sobre o processo de erosão dos solos.

Desta forma, o presente estudo foi realizado no intuito de fornecer os subsídios necessários ao planejamento territorial, tendo como objetivo estimar a perda de solo e a expectativa de erosão na Microbacia Córrego do Tijuco – SP.

II. REVISÃO DE LITERATURA

Uma das metodologias para determinar a perda de solo pela erosão hídrica é por meio do modelo matemático *Universal Soil Loss Equation* (USLE) proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978). Este modelo considera o desenvolvimento de impactos importantes sobre os esforços para a conservação do solo, por possibilitar a transferência de tecnologia entre pesquisadores e produtores. Bertoni e Lombardi Neto (1999) fizeram adaptações a USLE às condições brasileiras, mais especificamente às paulistas, a partir de experimentos em campo a fim de estabelecer parâmetros para as condições de solo e clima locais, resultando na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Esta equação engloba fatores relacionados ao clima, como a erosividade da chuva (R), ao solo, como a erodibilidade (K), relacionados ao relevo, como o fator topográfico (LS), e aos fatores antrópicos ligados ao manejo, como cobertura vegetal (C) e práticas conservacionistas (P), na multiplicação de todos estes fatores tem-se a perda de solo atual (A), expressa em $\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, desta forma pode-se traçar medidas que minimizem os processos erosivos em áreas onde há maiores perdas.

Apesar das limitações e restrições atribuídas à EUPS, esta metodologia de predição da erosão continua sendo o principal modelo aplicado em estudos de perda de solo em microbacias utilizando o geoprocessamento (RANIERI et al., 1998). A estrutura deste modelo matemático permite espacializar os fatores envolvidos no cálculo da erosão em mapas individuais, o restante do cálculo pode ser feito com operações simples de sobreposição, permitindo simulações de cenários (CASTRO & VALÉRIO FILHO, 1997) e inversão do modelo (NOGUEIRA et al., 2000). Esta metodologia é mundialmente usada para a predição da média anual de perdas de solos por erosão laminar (BUENO & STEIN, 2004).

2.1 Fator Erosividade da Chuva (R)

As principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos, conforme BUCKMAN & BRADY (1976) são: a quantidade total de chuva, a intensidade e a sua distribuição. Dentre essas três, é especialmente importante conhecer a intensidade pluviométrica porque representa uma relação entre as outras duas características (tempo de chuva / período chuvoso), resultado este que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética.

A maior importância dada a intensidade pluviométrica é facilmente verificada quando se observa que uma elevada pluviosidade anual, porém com distribuição ao longo de todo período, tem um poder erosivo muito menor do que uma precipitação anual mais reduzida que se despeja torrencialmente num determinado período do ano, situação responsável pelas extensivas enxurradas das regiões semi-áridas.

Na EUPS o efeito da chuva é dado pelo Fator (R), que representa a erosividade da chuva e do escoamento superficial indicando a capacidade da chuva em provocar erosão em uma área sem proteção (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; ALVES, 2000).

A perda de solo provocada pelas chuvas nos terrenos cultivados é diretamente proporcional ao produto da energia cinética total da chuva expressa em (Mj.ha^{-1}) pela sua intensidade máxima expressa em (mm.h^{-1}), com base em um período de 30 minutos sendo denominado índice de erosão (EI_{30}) (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Estudos realizados em Campinas, SP, por LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992) utilizando vinte e dois anos de registro de precipitação, encontraram alto coeficiente de correlação entre a média mensal do índice de erosão (EI_{30}) e a média mensal do coeficiente de chuva que é a relação entre a precipitação mensal e a anual de uma localidade, desenvolvendo um modelo para o cálculo da erosividade da chuva.

2.2 Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo tem sido definida como a fração orgânica, incluindo resíduos (frescos e em todos os estádios de decomposição) de plantas, animais e microorganismos, e o húmus relativamente estável (NELSON & SOMMERS, 1982). É difícil determinar o teor de matéria orgânica presente no solo. A análise do carbono tem sido usada, mas os teores de carbono na matéria orgânica dos solos variam bastante entre um solo e outro e, num mesmo perfil, decrescendo com a profundidade (RESENDE et al., 2002).

Sem a proteção da cobertura vegetal e da matéria orgânica morta, o solo fica exposto aos agentes da erosão, principalmente água e vento. A matéria orgânica, viva ou morta, além da proteção mecânica contra os danos causados pela água, é um agente importante na formação e estabilização dos agregados do solo, que juntamente com os poros fornece estrutura ao solo.

A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura (FELLER et al., 1996), teor de óxidos de ferro e alumínio (OADES & WATERS, 1991; DUFRANC et al., 2004), teor de matéria orgânica (ROTH et al., 1991; FELLER et al., 1996; BERTOL et al., 2000) e atividade microbiana (TISDALL & OADES, 1979) e também pelo manejo do solo (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1993; CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Os agregados do solo podem ser utilizados para medir a sua qualidade, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade, por permitir a percolação da água eficientemente ao longo do perfil (NEVES et al., 2006).

2.3 Fator Erodibilidade do Solo (K)

A erodibilidade do solo (K) é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente, e é expressa em $\text{Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, (LAL,1988).

A textura do solo é um fator importante que influencia a erodibilidade por afetar os processos de desagregação e transporte das partículas, uma vez que, enquanto as partículas de areia resistem ao transporte, solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e o silte as partículas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte, (RESENDE, 1992).

Basicamente, existem três formas distintas de se determinar a erodibilidade do solo. A primeira envolve a determinação do fator K em condições de campo, sob chuva natural, no entanto esta metodologia tem alto custo e requer um tempo maior. A segunda metodologia é semelhante à primeira, no entanto baseia-se na quantificação do fator K em razão das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada. Estes dois métodos são considerados padrões por refletir a erodibilidade do solo como é preconizada pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A terceira metodologia proposta por Denardin (1990), baseia-se em equações paramétricas que contém variáveis independentes como: distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos.

Em um levantamento de informações sobre a erodibilidade do solo, Silva & Alvares (2005), criaram um banco de dados sobre este fator para as principais classes de solo ocorrentes no Estado de São Paulo e encontraram por meio de copilação, um valor médio de $0,0425 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para os Argissolos e um valor de $0,0162 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para os Latossolos.

Outros autores como MANNIGEL et al. (2002), determinaram pelo método indireto, o fator erodibilidade do solo, baseando-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo tendo em vista facilitar a aplicação da EUPS às mais novas

classes de solo, encontrando valores de $0,4278 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para os Argissolo Amarelo distrófico horizonte A moderado textura arenosa/média e valores de $0,0112 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para os Latossolo Vermelho- Amarelo Distrófico horizonte A moderado textura argilosa.

Para melhor compreender o fenômeno erosivo produzido pelo escoamento pluvial difuso na região Noroeste do Estado do Paraná, PRADO & NÓBREGA (2005) utilizaram para o cálculo da erodibilidade, aproximação algébrica do nomograma, desenvolvida por ARS-USDA (1994), onde constataram que os menores valores da erodibilidade relacionavam-se com os Latossolos, localizados geralmente nos topos e nos segmentos de alta até média vertente.

Enquanto que em estudos da erosão na Microbacia do Ceveiro Piracicaba, SP, WEILL & SPAROVEK (2008) estimaram a erodibilidade dos solos para os 251 pontos amostrados empregando o modelo proposto por DENARDIN (1990) e obtiveram os maiores valores de K, entre $0,039$ e $0,048 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, associados a Neossolos Litólicos, Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-Amarelos abruptos.

2.4 Fator Topográfico (LS)

O comprimento de rampa (L) em metros é caracterizado como sendo a distância do ponto de origem do caimento da água até o ponto em que ela decresce e vai de encontro a um canal definido. O grau de declividade da encosta (S) expresso em porcentagem é caracterizado como o ângulo ou índice da inclinação do terreno (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Estes dois fatores têm sido pesquisados separadamente, no entanto, para aplicação prática, é mais conveniente considerá-los conjuntamente como um fator topográfico: (LS).

O fator comprimento de rampa (L) pode ser obtido por medições diretas em cartas topográficas ou através da razão entre a área de contribuição hidrica da bacia em (m^2) e o somatório de todos os cursos de água da bacia hidrográfica em metros.

Esta metodologia para determinar este fator é conhecida como método do retângulo equivalente, sendo modificado por VILELA & MATTOS (1975) que determinaram o valor da extensão média do escoamento superficial para a Bacia do Rio Lobo, SP.

O fator declividade (S) em porcentagem é estimado por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo importante porque o volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionados ao grau de declividade do terreno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

Tendo em vista as dificuldades encontradas para o cálculo deste fator, SILVA (2003) procurou determinar o fator topográfico (LS), utilizando-se para o cálculo do comprimento de vertente (L), o algoritmo de DESMET & GOVERS (1996) e para o cálculo da declividade da encosta a metodologia de WISCHMEIER & SMITH (1978).

Outros autores como ROCHA et al. (1996), desenvolveram uma sequência metodológica de aplicações em SIG sobre o MDE resultando um Plano de Informação (PI) de comprimento de rampa em estrutura poligonal. Enquanto, Castro e VALÉRIO FILHO (1997) aplicaram outro procedimento automático sobre o MDE para a determinação do PI comprimento de rampa, indicando a utilização do cruzamento entre os PI de orientação das vertentes e da distância relativa a canais de drenagem.

Metodologias para a geração do comprimento de rampa na microbacia do córrego São Joaquim, SP, utilizando SIG e dados cartográficos medidos manualmente sobre toda a área da microbacia foram comparados por meio da análise de regressão entre os resultados digitais gerados no SIG e um conjunto de dados obtidos em cartas topográficas. Desta forma, VALERIANO (2002) verificou a ocorrência de erros nas determinações do comprimento de rampa onde estes erros prevaleceram em áreas de relevo acidentado com declividades altas e rampas curtas, o que indica a necessidade de estabelecer procedimentos mais sofisticados de ajuste para os resultados do SIG.

Neste cenário a discretização espacial do fator topográfico (LS) é um dos maiores desafios para a modelagem matemática da erosão. Seu cálculo ainda segue modelos matemáticos propostos por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999). Contudo, autores como BUENO & STEIN (2004), SILVA et al. (2005) e FREITAS et al. (2007),

concluíram que o fator topográfico (LS) foi o que mais influenciou na susceptibilidade a erosão, e conseqüentemente no processo erosivo.

2.5 Fator Cobertura Vegetal e Manejo (C)

O fator cobertura vegetal e manejo corresponde à razão entre a perda de solo de uma área cultivada e a perda de solo de uma área de referência, continuamente mantida com solo preparado e sem qualquer tipo de cobertura vegetal (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Assim, na modelagem do processo de erosão, é importante o fator C, pois sem a cobertura vegetal viva ou morta sobre a superfície do solo, há uma total exposição do solo à erosão hídrica provocada pela água da chuva. Os danos causados pelas gotas de chuva que golpeiam o solo em alta velocidade constituem o primeiro passo no processo da erosão (BEASLEY, 1972; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). Este fator é de grande dificuldade de obtenção em função da variedade de possibilidade de combinações de práticas de manejo e rotações de culturas, feitas simultaneamente ou separadamente para uma mesma área (DEMARIA & LOMBARDI NETO, 1997).

A cobertura vegetal “morta” é uma prática agrícola que consiste em cobrir a superfície do solo, preferencialmente nas entrelinhas, com uma camada de material orgânico, geralmente com sobras de culturas como a palha ou cascas. O principal efeito desta cobertura é a absorção da energia cinética da chuva, induzindo a uma redução da desagregação do solo e, conseqüentemente, a uma diminuição da quantidade de solo transportado pela água da chuva. É importante ressaltar que quanto mais uniforme for a distribuição do resíduo e maior a porcentagem de cobertura, maior será o controle da erosão (LOMBARDI NETO et al., 1988). Por esse motivo, RENARD et al. (1991) considera o fator C, como um dos mais importantes da EUPS, pois o mesmo representa condições que podem ser alteradas para a redução da erosão.

Por esses motivos diversos autores como WISCHMEIER & SMITH (1978), MACHADO et al. (1982) e BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), se propuseram a

estudar este fator para os mais diversos usos da terra como: cana-de-açúcar, pastagem, culturas anuais, reflorestamento, matas e vegetação ciliar.

2.6 Fator Prática Conservacionista (P)

O fator prática conservacionista (P) indica a eficiência das práticas de conservação do solo no controle da erosão. Todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo denominam-se práticas conservacionistas. Estas podem ser divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas, e foram estudados de forma detalhada os efeitos na perda de solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

As práticas de caráter vegetativo são aquelas que utilizam a vegetação para defender o solo contra a erosão, como: reflorestamento, plantas de cobertura, cobertura morta, rotação de culturas, formação e manejo de pastagem, cultura em faixa, quebra vento, cordão vegetativo permanente e manejo do mato com alternância de capinas.

As práticas conservacionistas que, com modificações no sistema de cultivo, além do controle da erosão, mantêm ou melhoram a fertilidade do solo, são consideradas práticas edáficas, como: controle do fogo, adubação verde, adubação química, adubação orgânica e calagem. Por fim, as práticas mecânicas que podem ser adotadas no sentido de conter os processos erosivos como: preparo do solo e plantio em nível, sulcos e camalhões em pastagens, enleiramento em contorno, subsolagem, sistemas de drenagem em áreas irrigadas e ainda o uso do terraceamento.

O terraceamento é uma prática mecânica de conservação do solo destinada ao controle da erosão hídrica, sendo uma das mais utilizadas pelos agricultores. Essa prática de controle dos processos erosivos teve seu início no Estado de São Paulo, na década de trinta, quando o Departamento de Engenharia Mecânica da Agricultura (DEMA) e, a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) planejaram, marcaram e orientaram a construção de terraços com a finalidade de proteger as terras dos efeitos nocivos causados pela erosão (LOMBARDI NETO et al., 1994).

2.7 Potencial Natural de Erosão (PNE)

Potencial Natural de Erosão (PNE) é definido como sendo a estimativa da perda de solo expresso em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, utilizando para este cálculo os fatores naturais envolvidos na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) sendo eles: erosividade da chuva (R); erodibilidade do solo (K); comprimento da encosta (L) e declividade do terreno (S) que exprimem as condições naturais do clima, do solo e do terreno, (WEILL et al., 2001).

No município de São Carlos-SP, LORANDI et al. (2001) elaboraram o mapa do Potencial Natural de Erosão da parte superior da bacia do Córrego do Monjolinho, para ser utilizado como base na geração de mapas do uso e ocupação da terra, inclusive para a geração de mapas básicos das áreas de restrição à ocupação e expansão urbana.

Estudos realizados por ALVARES & SILVA (2005) e SILVA (2008) no Município de Sorocaba, S.P mostraram semelhança do Potencial Natural de Erosão com a topografia da região, apresentando valor de correlação espacial entre o fator topográfico e o PNE de 0,96%, enquanto CAMPOS et al. (2008) pesquisando a distribuição da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas obteve um correlação de 0,8% do potencial natural de erosão PNE com o fator topográfico (LS) para o Município de Pereira Barreto (S.P) e valor médio para o PNE de $228 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

2.8 Perda de Solo Atual (A)

A erosão do solo agrícola tem se caracterizado como um dos mais preocupantes problemas causados pela agricultura tanto da perspectiva dos efeitos ambientais quanto dos problemas causados à própria produção agrícola. A multiplicação dos fatores erosividade, erodibilidade, fator topográfico, cobertura vegetal e práticas conservacionistas nos revela um indicativo da perda média anual de solo para uma

determinada área. BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), afirmam que perdas de nutrientes e matéria orgânica, alterações na textura, estrutura e quedas nas taxas de infiltração e retenção de água são alguns dos efeitos da erosão sobre as características do solo.

Desta forma diversos pesquisadores se propuseram a estudar, de forma detalhada, essas perdas de solo em unidades como microbacias a fim de traçar medidas que minimizem esses processos erosivos, como PRADO & NÓBREGA (2005) que determinaram a perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga, PR, com aplicação da EUPS, encontrando os menores valores associados às áreas de Latossolos com declividades inferiores a 8%, e os maiores valores de perda associado à ocorrência de Argissolos e Neossolos Quartzarênicos com declividades superiores a 8%. TOMAZONI & GUIMARÃES (2005), utilizando sistemas de informação geográficas na Bacia do Rio Jirau, PR demonstraram que os solos com maior tolerância as perdas por erosão laminar são os Latossolos, que suportam uma perda de até $17,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ enquanto os solos mais jovens como Neossolos até $6,12 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Na avaliação das perdas de solo pode-se observar também a tendência do processo erosivo de determinada região. PARANHAS FILHO et al. (2003) aplicando uma análise multitemporal de 1966 a 1996 na bacia do Rio Taquarizinho, concluíram que o desmatamento implicou num aumento da taxa de erosão laminar dos solos em mais de 50 vezes, e que as perdas médias anuais do solo por erosão laminar foram representadas por valores médios de $4,44 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para 1966, de $5,53 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para 1985 e de $8,65 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para 1996. Enquanto, RIBEIRO e ALVES (2007), analisando as perdas de solo por erosão no município de Campos encontraram perdas variando de $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ até $500 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, ocorrendo em áreas de tabuleiro com cultivo de cana e em áreas de colina com cultivo de pastagem, inferindo que os processos antrópicos e naturais vêm causando erosão na região estudada.

2.9 Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é um termo utilizado na área das ciências aplicadas que se refere à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre (NOVO, 1979).

A extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliados ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento por satélite (ROSA, 1995a).

Para o manuseio e análise dos dados provenientes de sensores remotos, os aplicativos mais usados atualmente são o processamento digital de imagens e o Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Estes aplicativos são capazes de armazenar, analisar e localizar espacialmente dados de um fenômeno. Além disso, permitem o manuseio e a saída de dados já analisados e tratados (PIROLI et al., 2002).

A aplicação de modelos quantitativos foi intensamente facilitada com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas. Como exemplo deste tipo de aplicação de modelos quantitativos, temos a estimativa da perda de solo por erosão laminar realizados por PINTO (1991), ROSA (1995b) e CHAVES et al. (1995).

Para avaliar e monitorar a sustentabilidade ambiental em sistemas de cerrado, BRITO et al. (1998) concluiu que o sistema de informação geográfica mostrou ser uma ferramenta valiosa na integração dos dados de perda de solo por erosão laminar e na geração de produtos cartográficos. TOMAZONI et al. (2005) mostrou também a eficiência na utilização do SIG na avaliação e no monitoramento ambiental em bacias hidrográfica, na caracterização de áreas em seus aspectos físicos e na quantificação da erosão laminar.

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a microbacia Córrego do Tijuco, pertencente à bacia hidrográfica do Córrego Rico na Unidade de Gerenciamento do Rio Mogi Guaçu, pertencente aos Municípios de Jaboticabal e Monte Alto, Estado de São Paulo. Esta área localiza-se entre as coordenadas geográficas, longitude $45^{\circ}19'50''$ e $48^{\circ}27'26''$ W Gr, e latitudes $21^{\circ}18'10''$ e $21^{\circ}12'53''$ S, Datum horizontal Córrego Alegre, MG., com aproximadamente 8008 ha (Figura 1). O relevo local é predominantemente suave ondulado, com cotas variando entre 488 e 700 m, Datum vertical, Mareógrafo de Imbituba, SC.

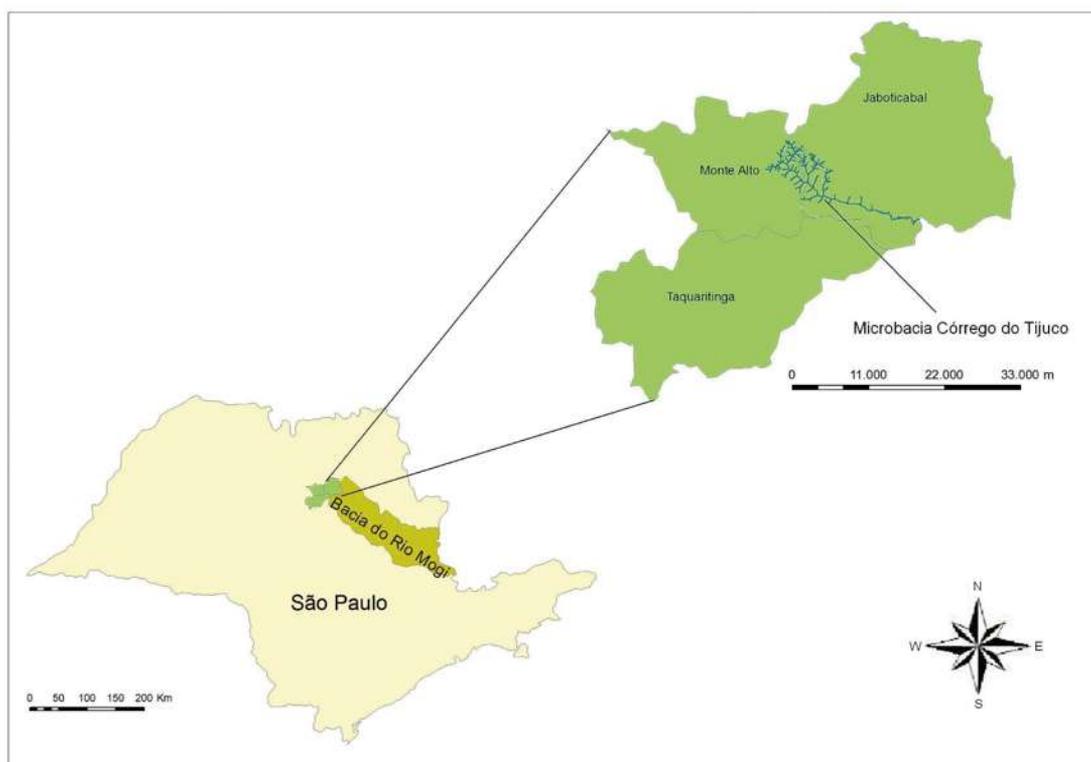


Figura 1. Localização da Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

O clima, pela classificação de Köppen, é mesotérmico de inverno seco (Cwa), com temperatura média anual de 18 e 22 °C e precipitação média anual de 1.400 mm. O embasamento geológico é constituído por arenitos da formação Adamantina e Marília ambos do Grupo Bauru.

Na área ocorrem duas classes de solo classificadas como Latossolos Vermelhos distróficos (LVd), horizonte A moderado, textura média, relevo plano e suave ondulado com 2700 ha e Argissolos Vermelho-Amarelos eutrófico (PVAe), abrupto, textura arenosa/média, relevo suave ondulado com 5300 ha, adaptado de PISSARRA (2002) (Figura 2).

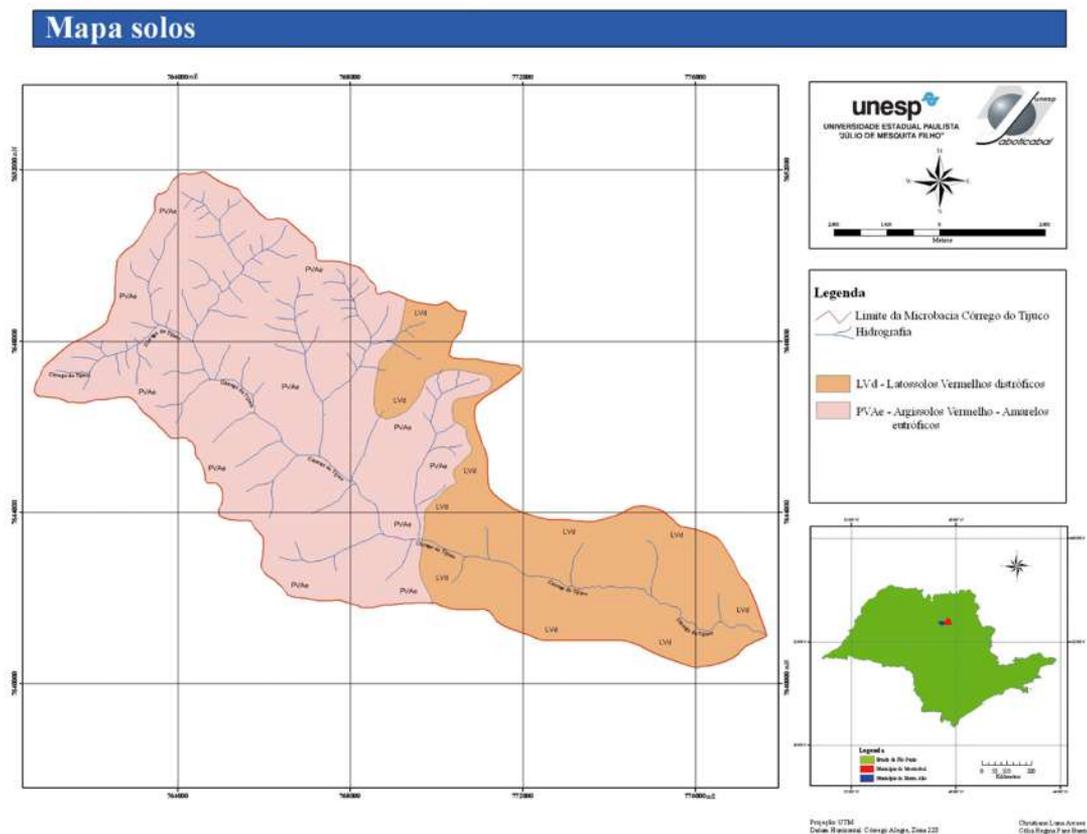


Figura 2. Mapa de solos da Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

No uso e ocupação do solo, a cultura da cana-de-açúcar predomina, ocupando uma área de 80,1% da área total, seguida pela área de preservação

permanente (9,7%), pastagem (3,44%), outros usos (4,40 %), mata (0,50%), área urbana (1,6%) correspondente à cidade de Monte Alto, e lago (0,1%) (Tabela 1). Anteriormente, a cobertura vegetal era composta de áreas florestais caracterizadas por Floresta Latifoliada Semi-decidual.

Tabela 1. Uso e ocupação do solo na Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Uso e Ocupação	Área	
	ha	%
Cana-de-Açúcar	6418,9	80,1
Área de preservação permanente	780,0	9,7
Mata	40,5	0,5
Pastagem	275,7	3,4
Outros usos	353,2	4,4
Lago	8,8	0,1
Área Urbana	130,9	1,6
Total	8008,0	100

3.2 Material

3.2.1 Base cartográfica

A base cartográfica da Microbacia Córrego do Tijuco utilizada para os planos de informação relativos ao contorno da área, às curvas de nível e à hidrografia foi elaborada a partir das Cartas do Brasil, planialtimétrica, do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE), escala 1:50.000, Folhas de Jaboticabal SF 22-Z-B-III-3 e Taiúva SF 22-X-D-III-2 e imagem do satélite CBERS – 2/CCD módulo multiespectral com 3 bandas, resolução de 20 metros.

3.2.2 Equipamentos

Para a elaboração dos mapas, vetorização e formação do banco de dados foi utilizado um computador com as seguintes características 1.6 Ghz, 2Mb de ram, 60 GB de Hd. Os programas utilizados foram GS+, NetErosividade, IDRISI Andes 15.0 e Arcview 9, para os tratamentos dos dados.

Scanner de rolo para converter as Folhas de Jaboticabal SF 22-Z-B-III-3 e Taiúva SF 22-X-D-III-2 em arquivos digitais.

Na coleta das amostras em campo, para a locação dos pontos na malha pré-estabelecida utilizou-se um GPS de navegação modelo TrecVista e, para retirada das amostras de solo um trado holandês.

3.3 Metodologia

3.3.1 Elaboração do Mapa Base

O Mapa Base foi elaborado a partir da Carta do Brasil, IBGE, do qual consta a rede de drenagem da Microbacia do Córrego do Tijuco, SP (Figura 3). As Cartas do Brasil (TAIUVA e Jaboticabal), escala 1:50.000, foram escaneadas em 300dpi e, posteriormente, introduzidas no IDRISI para o georrefenciamento, adotando-se o sistema de referência UTM 22 Córrego Alegre Sul, meridiano central 45º WGr e elipsóide South American 1969-SAD69. A digitalização dos planos de informação foi realizada utilizando o programa CARTALINX (Figura 4).

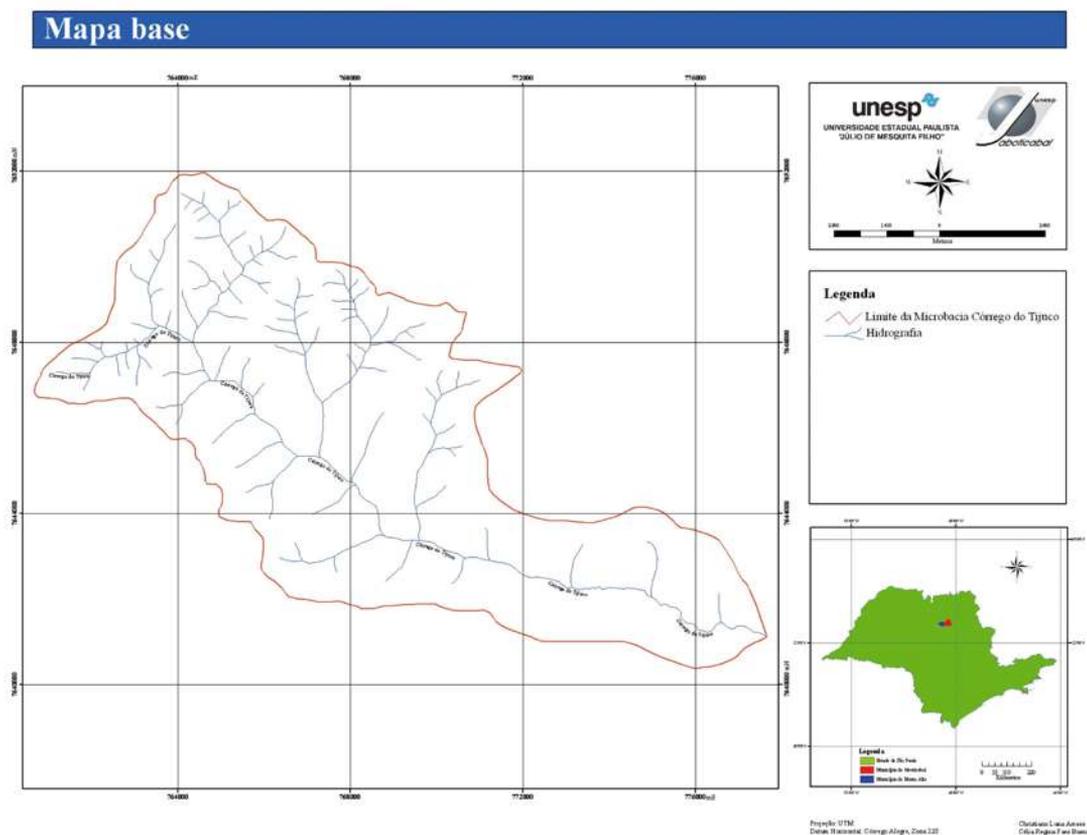


Figura 3. Área de estudo: limite e hidrografia.

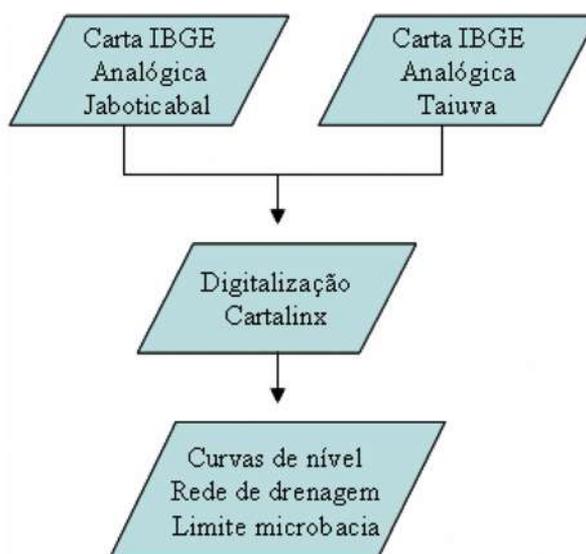


Figura 4. Fluxograma para a elaboração do Mapa Base.

3.3.2 Plano amostral e georreferenciamento dos locais de amostragem

O plano amostral foi elaborado a partir de uma malha regular com espaçamento de 500 m entre pontos, georreferenciados na Carta do Brasil, escala 1:50.000, e locados no mapa base (Figura 5).

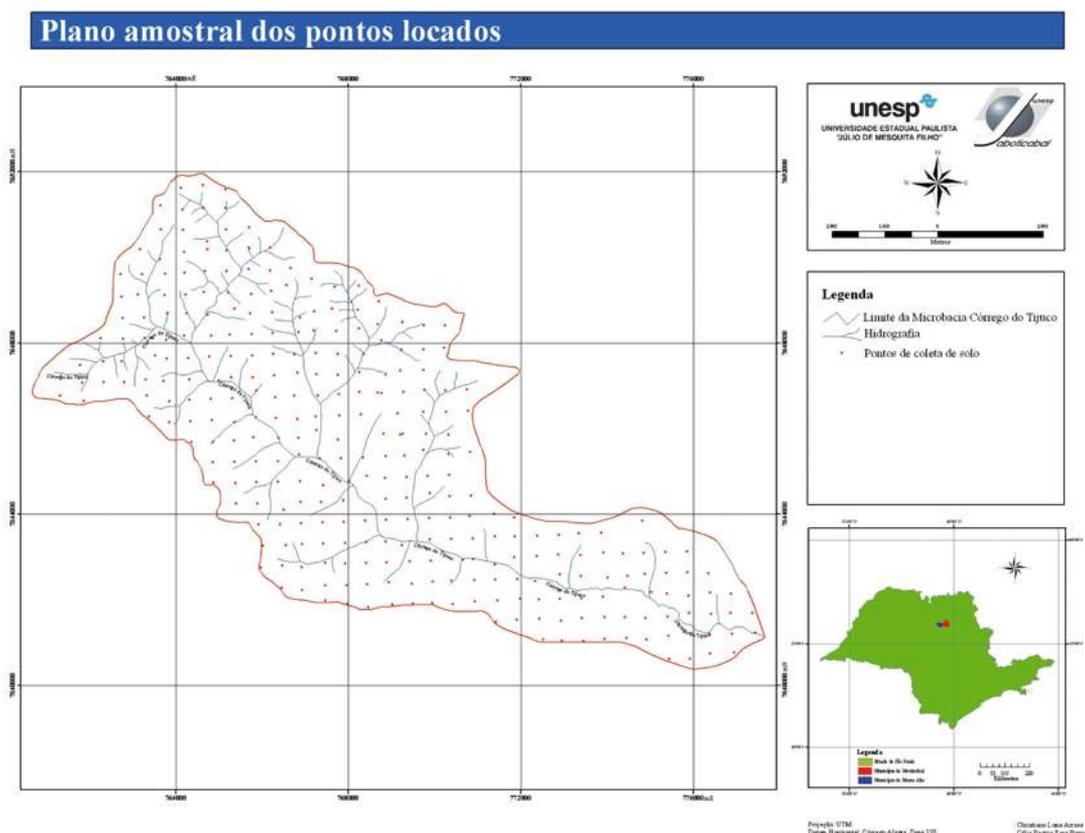


Figura 5. Locais de amostragem do solo na Microbacia Córrego do Tijoco, SP.

Todas as coordenadas dos pontos locados foram inseridas no GPS de navegação para posterior localização dos pontos de coleta nos trabalhos em campo.

Nos trabalhos em campo, primeiramente, o ponto era localizado, e em seguida, as amostras eram coletadas com a utilização de um trado holandês, com três subamostras de material de solo, para compor uma amostra composta representativa do ponto de amostragem, na profundidade de 0,0 a 0,20 m, totalizando 310 pontos.

3.3.3 Análises Físicas e Químicas do Solo

As análises físicas do solo foram obtidas por meio da análise granulométrica com os teores de areia fracionada, silte e argila utilizando o método da pipeta, de acordo com a EMBRAPA (1997). As amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foram tratadas com uma solução 0,1 N de NaOH e agitadas lentamente por um período de 16 horas, para dispersão das partículas (JACKSON, 1979). Após o tratamento prévio, a fração areia foi retida em peneiras e separadas em cinco classes: areia muito grossa (2,0–1,0 mm); areia grossa (1,0–0,5 mm); areia média (0,5–0,25 mm); areia fina (0,25–0,10 mm); e areia muito fina (0,10–0,05 mm), enquanto as frações argila e silte foram recolhidas em provetas de 1.000 ml e separadas por sedimentação, com base na lei de Stokes.

A análise química do solo foi obtida o teor de matéria orgânica (MO) segundo método descrito por RAIJ et al. (1987).

3.3.4 Perda de Solo na Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

A perda de solo em massa por unidade de área por tempo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) foi determinada utilizando-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por WISCHMEIER & SMITH, (1978) e modificada por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), em que consiste da multiplicação dos fatores Erosividade da Chuva (R), Erodibilidade do Solo (K), Fator Topográfico (LS),

Cobertura Vegetal e Manejo (C) e Prática Conservacionista (P), de acordo com a equação (1) e (Figura 6), e foram classificados em cinco classes sendo: muito baixo ($< 10 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), baixo (10 a $20 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), moderado (20 a $50 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), alto (50 a $100 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e muito alto ($> 100 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) seguindo recomendações adotadas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

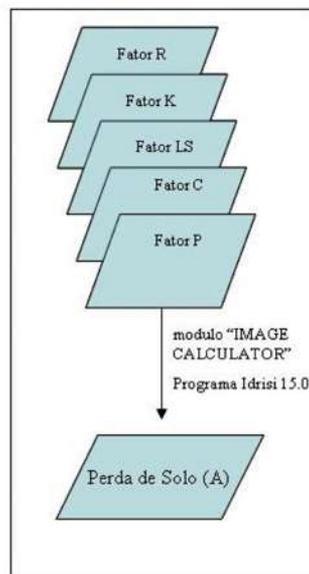


Figura 6. Fluxograma para o cálculo da Perda de Solo (A), Microbacia Córrego do Tijucu, SP.

3.3.4.1 Fator Erosividade da Chuva (R)

Os valores de erosividade das chuvas (R), expressos em $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$, foram calculados para cada ponto. O cálculo foi realizado no programa NetErosividade desenvolvido para o Estado de São Paulo, Copyright (2005) ©GPRH. O programa consiste da utilização de redes neurais artificiais de acordo

com a equação sugerida por LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992), conforme equação 2:

$$EI_{mensal} = 89,823 \times \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,759} \quad (2)$$

sendo:

EI_{mensal} – Erosividade média mensal do mês - $Mj.mm. h^{-1}.ha^{-1}$;

r - precipitação média mensal do mês, mm e

P - precipitação média anual, mm.

Para interpretar o conjunto de dados da erosividade, no intuito de ter maior compreensão desta variável na área estudada foram determinados os valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão, coeficientes de assimetria, curtose e coeficiente de variação utilizando o programa Minitab 14.

A espacialização dos valores de erosividadee foi efetuada por interpolação pelo método geoestatístico referido por krigagem ordinária, utilizando os parâmetros do semivariograma. Considera-se este método de interpolação bom por não subestimar nem superestimar valores e porque os desvios em relação aos valores são mínimos (VIEIRA, 1983). A interpolação dos dados foi efetuada utilizando o programa GS+, para obter o comportamento da distribuição espacial desta variável. O arquivo gerado foi então exportado para o IDRISI.

3.3.4.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)

O fator erodibilidade do solo, expresso em $Mg.h.Mj^{-1}.mm^{-1}$, foi obtido utilizando o modelo proposto por DENARDIN (1990), equação (3).

$$K = 7,48 \times 10^{-6} M + 4,48059 \times 10^{-3} P - 6,31175 \times 10^{-2} DMP + 1,039567 \times 10^{-2} R \quad (3)$$

sendo:

M (%) = (areia fina + silte) x [(areia fina + silte) + areia grossa];

P = valor da permeabilidade, será estimada analisando de forma integrada os dados de todo perfil do solo, até o topo do horizonte C, adotando esses valores: 1 = muito baixa, 2 = baixa, 3 = baixa a moderada, 4 = moderada, 5 = moderada a rápida, 6 = rápida;

DPM (diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm)) = $6,31175 \times 10^2 \times (((0,65 \times \text{Argila}\%) + (0,15 \times \text{areia fina}\%) + (0,0117 \times \text{silte}\%) + (0,00024 \times \text{argila}\%))/100)$

R = [areia grossa x (teor de matéria orgânica/100)].

Os valores de erodibilidade do solo de cada ponto amostrado também foram analisados na estatística descritiva no programa Minitab 14. A espacialização dos valores de erodibilidade também foi efetuada pelo método geoestatístico referido por krigagem ordinária, utilizando os parâmetros do semivariograma. A interpolação dos dados foi efetuada utilizando o programa GS+, para obter o comportamento da distribuição espacial desta variável. O arquivo gerado foi então exportado para o IDRISI para compor o mapa do fator K do modelo de erosão, adotando-se a classificação: muito baixa (<0,010), baixa (0,010 a 0,020), moderada (0,020 a 0,030), alto (0,030 a 0,040), muito alto (>0,040), proposta por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999).

3.3.4.3 Fator Topográfico (LS)

O comprimento da encosta (L), e o grau de declividade (S), foram agrupados em um único fator, denominado fator topográfico (LS) e calculado de acordo com a equação (4), proposta por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999).

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

sendo:

LS = fator topográfico (adimensional);

C = comprimento médio da rampa, em metros;

D = declividade, em %.

Para o cálculo do comprimento de rampa a partir do método do retângulo equivalente utilizou-se a equação (5):

$$C = \frac{A}{4 \times L} \quad (5)$$

sendo:

C = comprimento médio de rampa, em (m);

A = área de contribuição hídrica da microbacia (m²);

L = somatório do comprimento de todos os cursos d'água da microbacia.

O método do retângulo equivalente consiste na determinação do valor comprimento médio de rampa (C) (VILLELA & MATTOS, 1975). Este comprimento é compreendido pela distância média da encosta pela qual a água das chuvas, por escoamento superficial, atinge o leito dos rios. Esta distância considera a área da bacia em estudo como um retângulo, onde em seu centro passa um rio de comprimento (l), correspondendo ao somatório do comprimento de todos os cursos d'água componentes da rede de drenagem da bacia. A determinação deste comprimento é realizada para cada área de contribuição hídrica determinada a partir da elaboração de um plano de informação, contendo as redes hidrográficas, no Mapa base (Figura 4).

Para se determinar a área de contribuição hídrica da microbacia (A) utilizou-se o módulo área presente no menu *Analysys* do IDRISI. O somatório do comprimento total dos cursos d'água (L) foi estimado no CARTALINX utilizando-se do banco de dados gerados no momento da vetorização dos cursos de água.

Para obter os valores Comprimento Médio de Rampa (C) para cada área de contribuição hídrica (Figura 7) gerou-se um banco de dados no formato .AVL (arquivos de valores), utilizando-se o menu *Edit* para as 31 áreas de contribuição hídrica e o comando *Assign* para adicionar os valores criados no banco de dados (Figura 8).

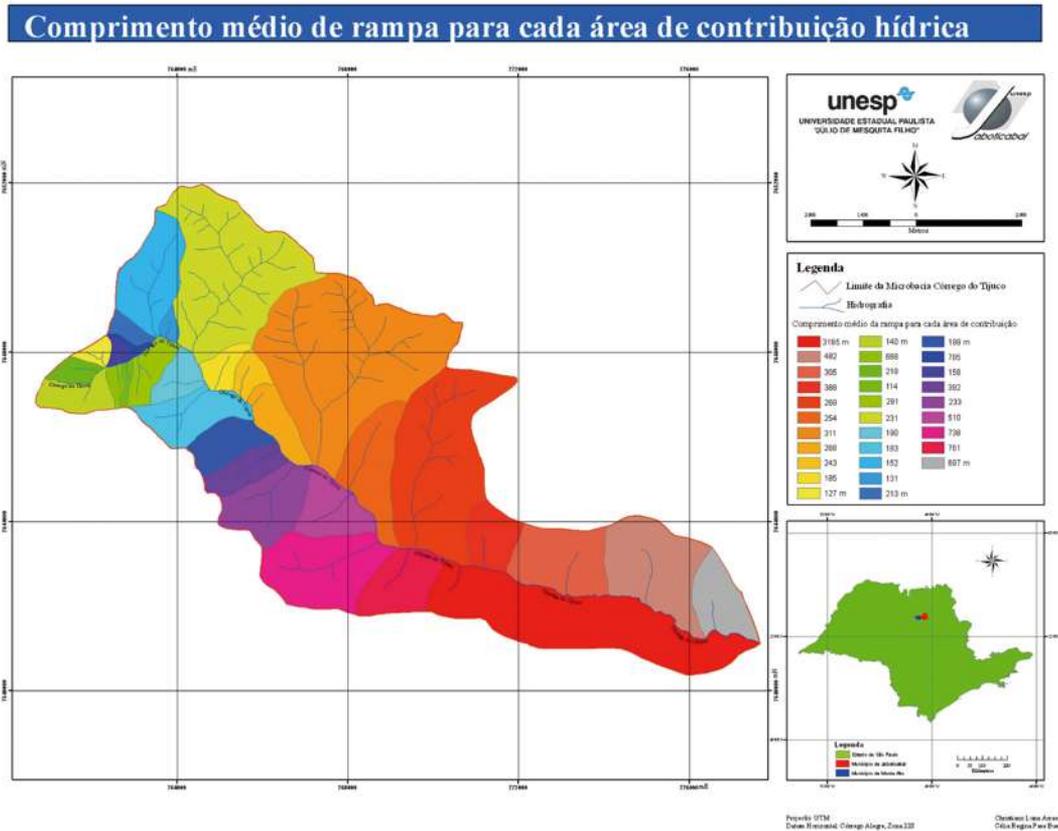


Figura 7. Mapa do comprimento médio de rampa de cada área de contribuição hídrica, para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

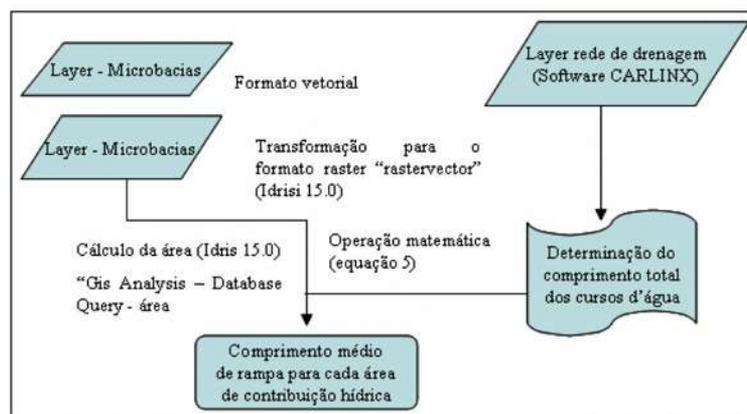


Figura 8. Fluxograma para a elaboração do mapa comprimento médio de rampa (C) para cada área de contribuição hídrica.

Os valores de declividade (D) do fator topográfico foram obtidos a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT), gerado no IDRISI a partir da vetorização das curvas de nível das folhas de Jaboticabal e Taiuva, das Cartas do Brasil, utilizando o menu *Gis Analysis > Surface Analysis > Interpolation > Tin Interpolation* e por fim o comando *Tin*. Após a geração da grade triangular (TIN) efetuou-se o comando *Surface* escolhendo a opção de saída em porcentagem (Figura 9).

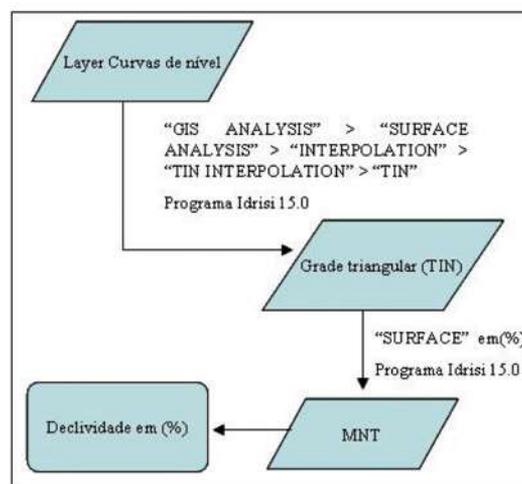


Figura 9. Fluxograma para elaboração do mapa de declividade (D) em porcentagem.

Para obter os valores do Fator Topográfico (LS) foi necessário gerar os mapas do comprimento médio de rampa (C) para cada área de contribuição hídrica (L), e declividade (S). Para tanto, utilizou-se o módulo *Image Calculator* do IDRISI e procedeu-se a execução da expressão matemática apresentada na equação (4). O resultado foi gerado a partir da junção dos mapas do comprimento médio de rampa para cada área de contribuição hídrica e o mapa de declividade (Figura 10).

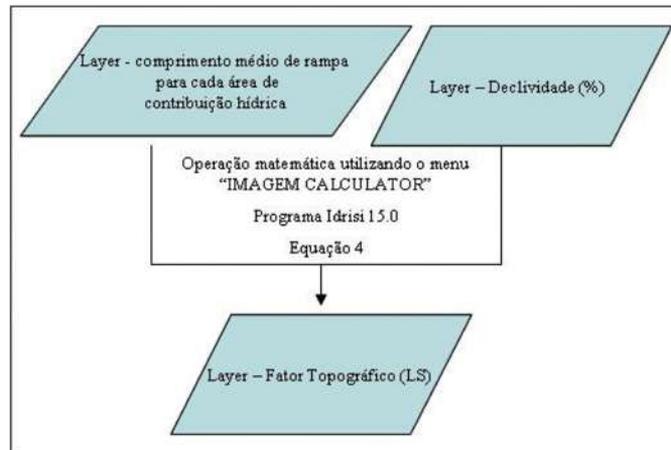


Figura 10. Fluxograma para obter o fator topográfico (LS).

Para a classificação dos valores obtidos adotaram-se as classes desenvolvidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999): muito baixo (< 1), baixo (1 a 5), moderado (5 a 10), alto (10 a 20) e muito alto (>20).

3.3.4.4 Potencial Natural de Erosão (PNE)

O potencial natural de erosão (PNE) expresso em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ foi calculado utilizando apenas os fatores naturais da EUPS ou seja por multiplicação dos fatores erosividade (R), erodibilidade (K) e fator topográfico (LS), equação (6), utilizando para isso o comando *Image Calculator* do IDRISI (Figura 11) adotando as classes muito baixo (< 250 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), baixo (250 a 500 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), moderado (500 a 750 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), alto (750 a 1000 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e muito alto (> 1000 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), recomendadas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999).

$$PNE = R \times K \times LS \quad (6)$$

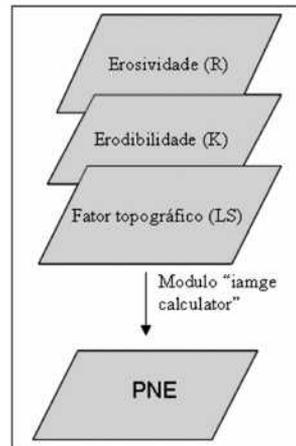


Figura 11. Fluxograma do plano de informação Potencial Natural de Erosão (PNE).

3.3.4.5 Fator Uso e Manejo do Solo (C)

O fator uso e manejo do solo (C), adimensional, foi obtido por meio da razão de perdas de solo de cada período combinado com dados relativos à chuva. Os diferentes períodos de desenvolvimento da cultura oferecem diferentes amplitudes de proteção, podendo levar a diferentes perdas de solo, juntamente com incidência dos fatores climáticos, a produtividade dos solos e o manejo dos restos culturais (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). As áreas com os diferentes usos foram determinadas a partir da vetorização dos polígonos nas imagens orbitais do satélite CBERS – 2/CCD, órbita 156 ponto 124, com 20 m de resolução espacial, na data de 8 de Setembro de 2008 (Figura 12) e confirmadas em campo no momento da amostragem, onde se observou a cultura atual para cada ponto coletado.

Adotando assim valores para o fator uso e manejo do solo (C) segundo recomendações de BERTONI & LOMBARDI NETO, (1999) (Tabela 2).

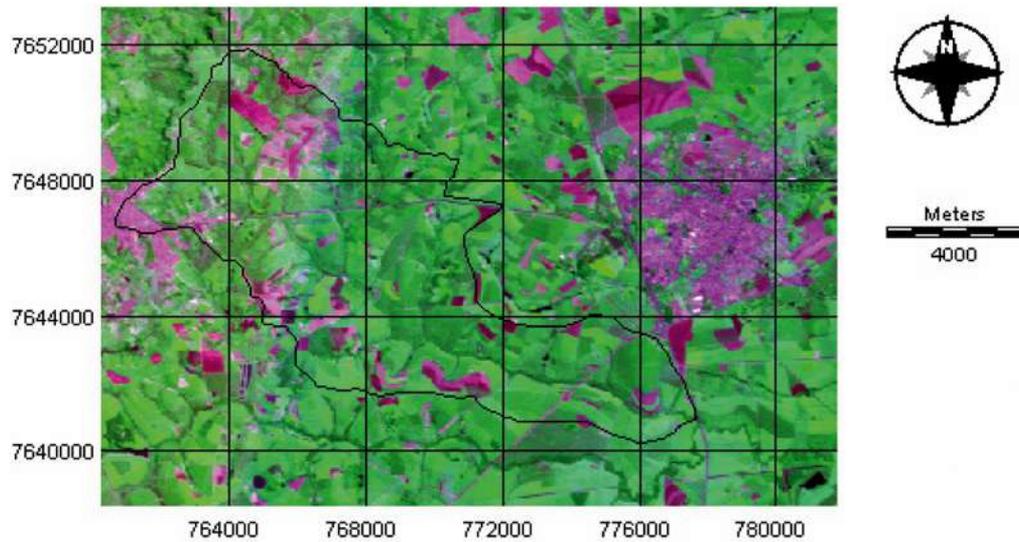


Figura 12. Imagem orbital da área de estudo, Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Tabela 2. Fator Uso e Manejo do Solo (C).

Classe de uso do solo	Valor de C
Cana-de-Açúcar	0,3222
Vegetação ciliar	0,00004
Mata	0,00004
Pasto	0,005
Culturas anuais	0,3222
Corpos d'água	0,0
Área urbana	0,0

Para a geração do plano de informação uso e manejo do solo (C) foi utilizado o CARTALINX, onde por meio de seus comandos de vetorização sobre a imagem orbital confeccionaram-se os polígonos relativos a cada uso e ocupação. Estes polígonos foram exportados para o IDRISI e por meio do menu *Edit* criou-se o banco de dados no formato .AVL. Os valores de uso e manejo do solo para cada polígono foram adicionados no comando *Assign*, elaborando o banco de dados relacionados aos respectivos polígonos de uso e manejo do solo (Figura 13).

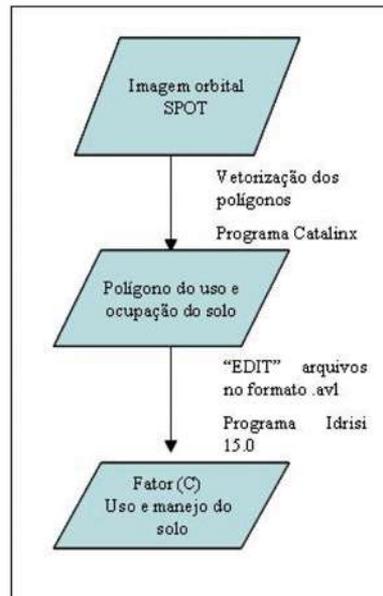


Figura 13. Fluxograma para obter o fator uso e manejo do solo (C).

3.3.4.6 Fator Prática Conservacionista (P)

O fator prática conservacionista (P) foi obtido por meio da equação (7) definida por LAGROTTI (2000).

$$P = 0,69947 - 0,08991D + 0,01184D^2 - 0,000335D^3 \quad (7)$$

sendo:

D = Declividade em (%)

A geração deste plano de informação (P) foi realizada no IDRISI por meio do módulo *Image Calculator*, utilizando-se a *layer* da Declividade em %, empregando-se a equação (7) (Figura 14). Classificando este fator em cinco valores, relacionados com as classes de declividade segundo recomendações de Lagrotti (2000).

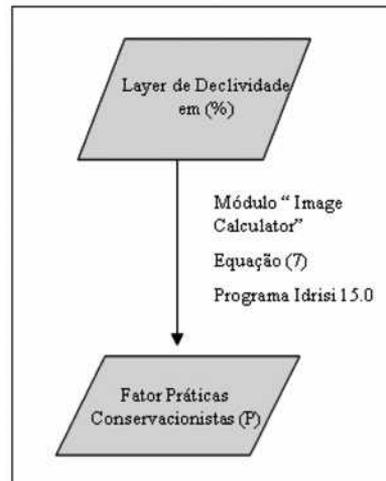


Figura 14. Fluxograma para obter o fator prática conservacionista.

3.3.4.7 Perda de Solo da Microbacia Córrego do Tijuco (A)

A perda de solo em massa por unidade de área por tempo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) foi determinada utilizando-se a equação 1.

Para tanto, os valores dos fatores Erosividade (R), Erodibilidade (K), Fator Topográfico (LS) e os Fatores Antrópicos: Cobertura Vegetal e Manejo (C) e Prática Conservacionista (P) obtidos a partir da metodologia já descrita foram multiplicados no IDRISI, no módulo *Image Calculation*, gerando o mapa de perda de solo da Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

3.3.4.8 Expectativa de Erosão (EE)

Para a definição da expectativa de erosão (EE), foram utilizados os fatores CP_{atual} e $CP_{\text{tolerável}}$ utilizando-se da equação 8:

$$EE = CP_{\text{atual}} - CP_{\text{tolerável}} \quad (8)$$

Sendo:

EE= Expectativa de erosão;

CPatual= corresponde à influência da ocupação atual no condicionamento da erosão;

CPtolerável= corresponde a um índice de perdas de solo que respeita todas as características do meio físico intervenientes no processo de erosão, e é obtido através da equação 9:

$$CPtolerável = Atolerável / PNE \quad (9)$$

Sendo:

Atolerável = limite máximo de tolerância à perda de solo por tipo de solo;

PNE = potencial natural de erosão.

Os limites de perdas de solo toleráveis (Atolerável) foram de 6,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para os Argissolos e de 15,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para os Latossolos de acordo com limites estabelecidos para solos do Estado de São Paulo por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999).

Para tanto, os valores dos fatores uso e manejo do solo (C) e prática conservacionista (P) (CPatual), tolerância à perda de solo (Atolerável) e o potencial natural de erosão (PNE) obtidos a partir da metodologia já descrita foram multiplicados no IDRISI, no módulo *Image Calculation*, gerando o mapa de expectativa de erosão da Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na microbacia estudada, determinou-se a perda de solo e expectativa de erosão, utilizando os fatores naturais condicionantes da erosão e os fatores antrópicos por meio de cálculos, tendo como base a Equação Universal de Perda de Solo.

Os fatores naturais estudados correspondem a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K) e o fator topográfico (LS), resultando numa síntese parcial do potencial erosivo da área. Enquanto os fatores antrópicos, representados pelo uso e manejo do solo (C) e prática conservacionista (P) completam a avaliação da perda de solo na Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

4.1 Fator Erosividade da Chuva (R)

A erosividade é uma variável que representa a capacidade potencial da chuva de remover os solos, fixando-se outros fatores. Este fator pode ser calculado por meio do índice EI_{30} que representa o potencial da energia cinética total da chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos.

Os resultados referentes à estatística descritiva para o fator erosividade da chuva mostraram que o coeficiente de variação (CV) (1,0%) foi baixo para o fator erosividade (R) segundo critérios adotados por WARRICK & NIELSEN (1980), demonstrando uma distribuição uniforme deste fator em toda a área estudada. Os valores muito próximos da média ($7873,8 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e mediana ($7874,0 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) indicam uma tendência a distribuição normal.

A distribuição espacial da erosividade para a Microbacia Córrego do Tijuco é observada na Figura 15, onde se constata que os resultados apresentam variações baixas para dados meteorológicos, evidenciando a pouca dispersão dos

dados. As áreas correspondentes a cada classe representada no mapa estão apresentadas na Tabela 3.

Erosividade da Chuva

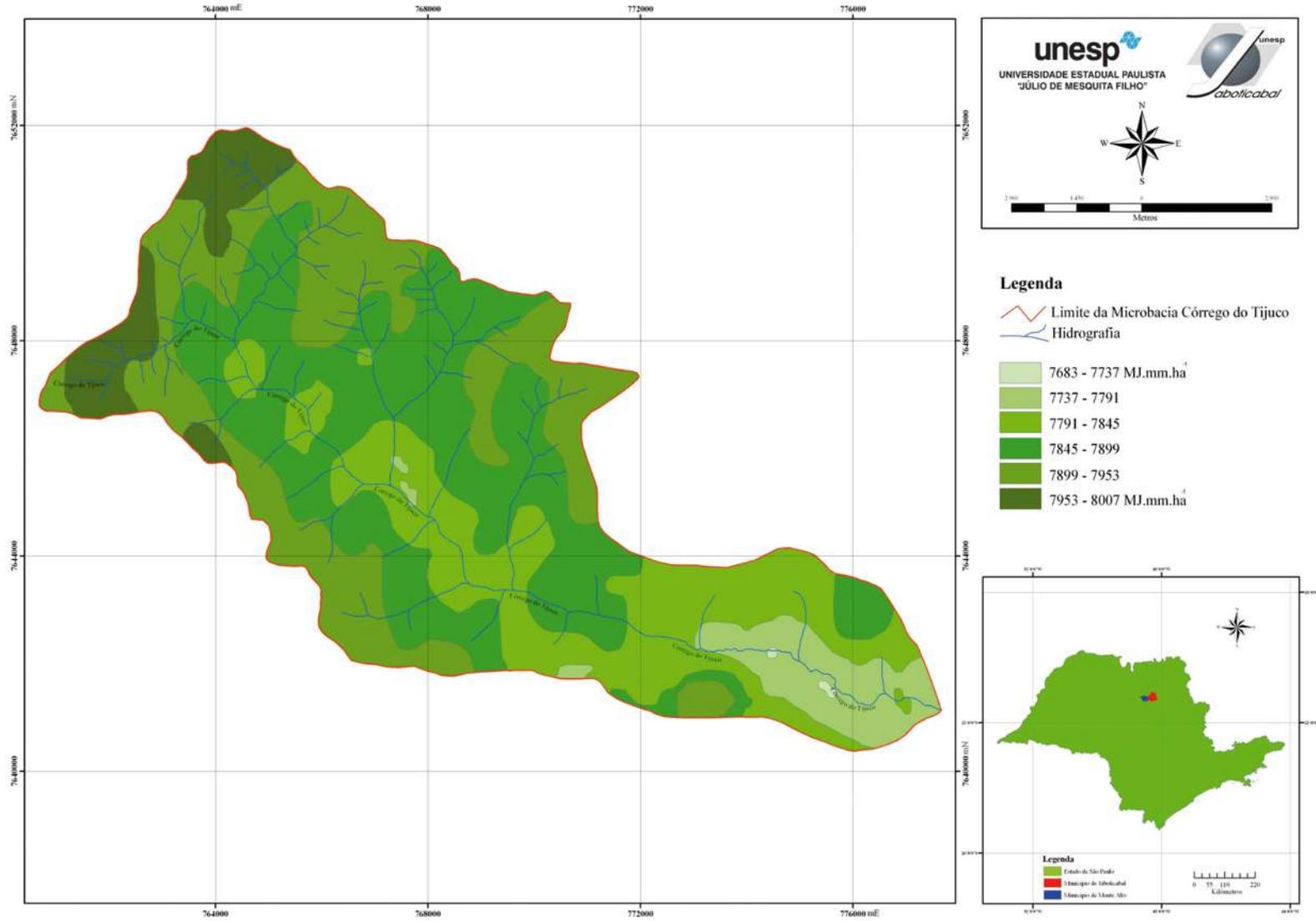


Figura 15. Mapa da Erosividade da Chuva para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Projeção: UTM
Datum Horizontal: Córrego Alegre, Zona 22S

Christiano Lana Arnes
Célia Regina Paes Bueno

O valor médio da erosividade para a área de estudo, é compatível com os valores encontrados por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), para o Estado de São Paulo, que variaram de 5750 a 8000 $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Estudos realizados por MOREIRA et al. (2006), na região de Monte Alto, SP e de SOUZA et al. (2005), para a região de Guariba, SP., encontraram um valor médio de 7.664 $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e de 7.298 $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente, estando próximo ao valor médio encontrado para esta área de estudo.

Tabela 3. Áreas correspondentes a cada classe de erosividade da chuva para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Classes da erosividade	Área	
$\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	ha	%
7683 – 7737	7,3	0,09
7737 – 7791	559,7	6,9
7791 – 7845	1803,3	22,5
7845 – 7899	3012,7	37,6
7899 – 7953	2053,8	25,6
7953 - 8007	571,5	7,1

Contudo, quando os estudos foram realizados em outras regiões, como por WEILL & SPAROVEK (2008), na Microbacia do Ceveiro, na região de Piracicaba, SP, estes determinaram um valor médio de 6.273 $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo este valor inferior ao encontrado para a área de estudo, devido principalmente a intensidade da precipitação anual na região de Piracicaba a qual é inferior a intensidade da precipitação anual na região de Jaboticabal e Monte Alto.

4.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)

A erodibilidade é o efeito integrado de processos que regulam a chuva no momento que encontra o solo e a sua respectiva resistência no que tange a desagregação de partículas e, conseqüentemente, o movimento destas, indicando o grau de suscetibilidade a erosão em relação às propriedades inerentes ao solo.

Os resultados referentes à estatística descritiva para o fator erodibilidade do solo (K) indicam um baixo coeficiente de variação (15,9 %), por ser uma variável intrínseca do solo, que de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994), os fatores intrínsecos do solo apresentam baixos coeficientes de variação. Os valores próximos da média ($0,0430 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) e mediana ($0,0433 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) para o fator indicam uma tendência a distribuição normal.

Valores médios próximos foram encontrados para Argissolos por MANNIGEL et al. (2002), $0,0466 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, BUENO & STEIN (2004), $0,0438 \text{ Mg.ha.h/ha.MJ.mm}$ e SILVA (2008), $0,0425 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

A distribuição espacial do fator erodibilidade da área de estudo é observada na Figura 16, com o predomínio de valores maiores que $0,040 \text{ Mg.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, sendo estes considerados muito altos para este fator.

Erodibilidade do Solo

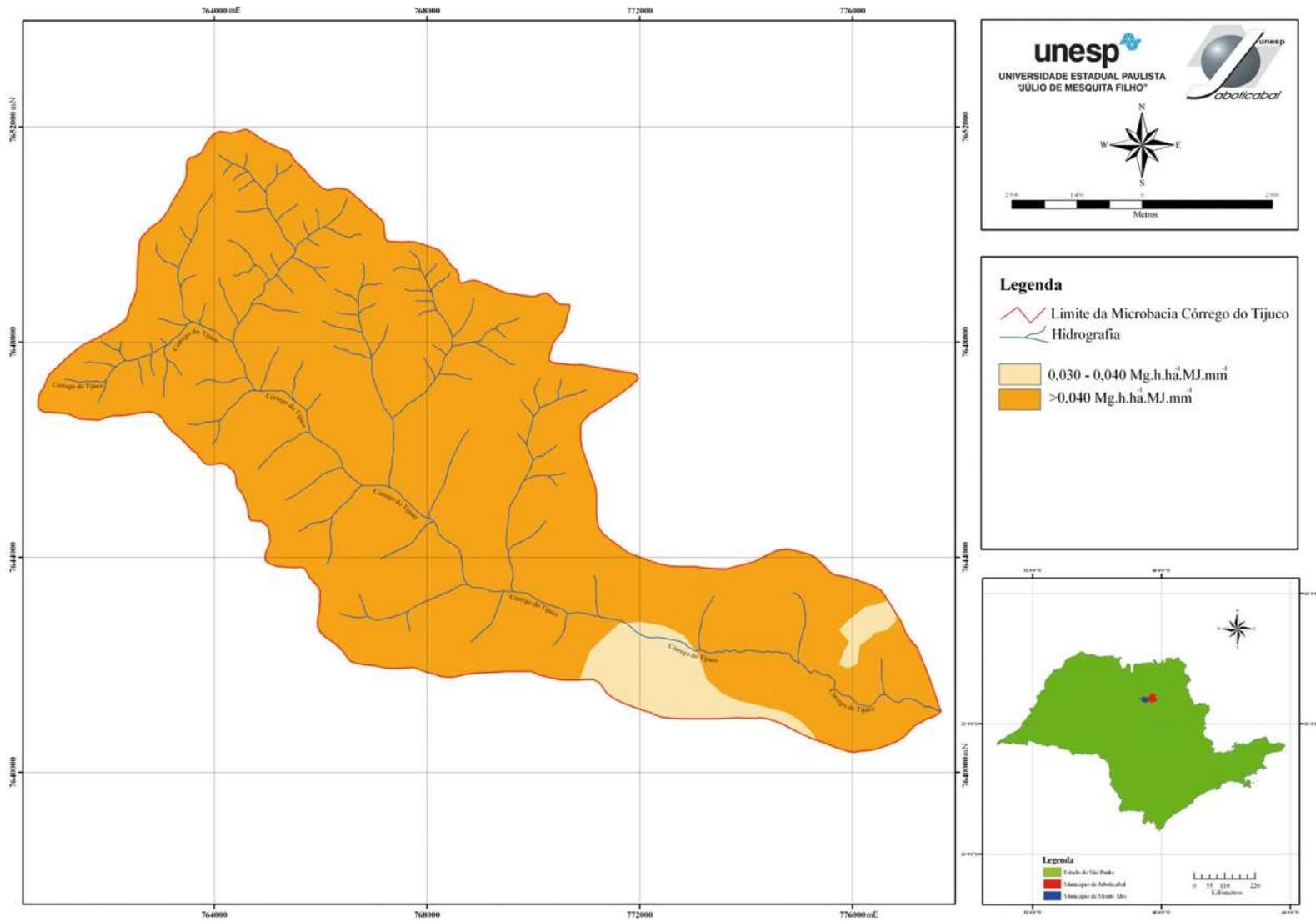


Figura 16. Mapa da Erodibilidade do Solo para a Microbasia Córrego do Tijuco, SP.

Projeção: UTM
Datum Horizontal: Córrego Alegre, Zona 22S

Christiano Lana Amos
Célia Regina Paes Biseno

Considerando o predomínio de valores muito altos, é possível observar que a área de estudo esta localizada em área com a predominância de Argissolos Vermelhos Amarelos eutróficos abrupticos, textura arenosa/media que apresentam alta susceptibilidade ao desenvolvimento de ravinas e voçorocas devido a seu comportamento marcante em relação à gradiência textural. Essa mudança textural abruptica nestes solos facilita uma rápida saturação dos horizontes superiores favorecendo o fluxo paralelo ao caimento das encostas, portanto, incrementando a erosão.

Já nas áreas onde ocorrem o Latossolo Vermelho distrófico, textura média observou-se também altos valores de erodibilidade. Estes solos apresentam tendência à rápida infiltração das águas de chuva devido a alta permeabilidade e a homogeneidade textural, desta forma condições pouco favoráveis à concentração de água por escoamento superficial. Entretanto, em condições de ocupação inadequada do solo, que conduzam ao escoamento superficial concentrado, de água de chuva, observam-se condições favoráveis ao ravinamento, e rápido aprofundamento erosivo, podendo levar ao desenvolvimento de voçorocas de grande porte por constituírem-se em solos bastante profundos. Nestas condições o ravinamento é observado provavelmente pela fragilidade estrutural observada entre as frações finas (argila e silte) e as frações mais grosseiras (areia) desses solos.

As áreas correspondentes a cada classe encontrada no mapa da erodibilidade do solo estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Áreas correspondentes a cada classe da erodibilidade do solo para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP., segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (1999).

Classificação	Classe definida	Área	
	Mg.h.Mj ⁻¹ .mm ⁻¹	ha	%
Alto	0,030 a 0,040	432,9	5,4
Muito Alto	> 0,040	7575,6	94,5

Vários autores utilizam esse fator para avaliar a suscetibilidade à erosão, como medida de desagregação ou de resistência à desagregação do solo (BERTOL et al., 2007; SOUZA et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2004).

A classificação da erodibilidade em dois níveis foi de acordo com as condições reais das análises das amostras de solo obtidas em campo. A análise numérica e cartográfica dos resultados permite inferir que nas áreas onde os valores da erodibilidade são maiores, houve um incremento do teor de silte e areia muito fina, estando de acordo com trabalhos desenvolvidos por WISCHMEIER et al. (1971).

No que tange a matéria orgânica, DENARDIN (1990) expressa a alta correlação da erodibilidade com o teor de matéria orgânica. A jusante da microbacia encontra-se maiores teores de matéria orgânica diminuindo os teores da erodibilidade. Esses teores elevados de matéria orgânica podem estar relacionados a camada de palha deixada na superfície, devido ser uma região onde se faz a colheita crua da cana-de-açúcar.

Nas áreas de maiores valores da erodibilidade observam-se inúmeros problemas ambientais devido ao desmoronamento do solo (Figura 17).

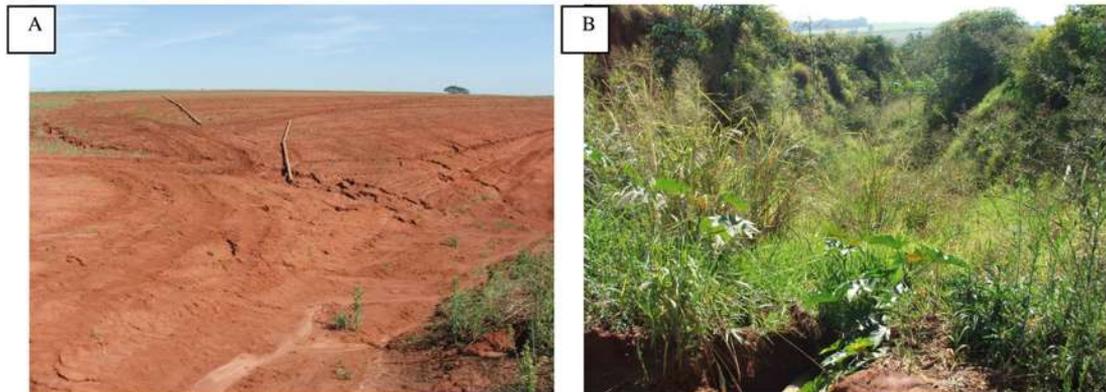


Figura 17. Erosão laminar e em sulcos (A) e voçoroca (B) em área de plantio de cebola na Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

4.3 Fator Topográfico (LS)

Na avaliação do potencial de erosão, as características das encostas preponderantes são a declividade e seu comprimento, pois quanto maiores a declividade e o trecho percorrido, maior a energia produzida pela enxurrada que se acumula e maior será a erosão resultante.

Os fatores declividade e comprimento de encosta vêm sendo calculados em conjunto, utilizando equações estabelecidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), definindo o fator topográfico (LS).

Em muitos estudos regionais de avaliação de erosão (STEIN et al., 1987; BUENO, 1994; CASTRO & VALÉRIO FILHO, 1997, SILVA et al 2005) verificou-se a predominância do fator declividade sobre o fator comprimento das encostas, que para estimativas qualitativas se pode prescindir deste último.

As classes predominantes no mapa da declividade (Tabela 5 e Figura 18) mostram a jusante um predomínio de áreas planas e declive suave ondulado (3 a 8%) com escoamento superficial muito lento, não favorecendo a erosão hídrica, e áreas a montante, com relevo moderadamente ondulado (8 a 13%) nas quais o

escoamento superficial para a maior parte dos solos é médio ou rápido, já ocorrendo erosão.

Tabela 5. Classes de declividade da Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Classificação	Classe definida	Área	
	%	ha	%
Plano	0 - 3	1108,4	13,8
Suave ondulado	3 - 8	4240,2	52,9
Moderadamente ondulado	8 -13	1945,7	24,2
Ondulado	13 - 20	604,6	7,5
Forte ondulado	> 20	109,5	1,3

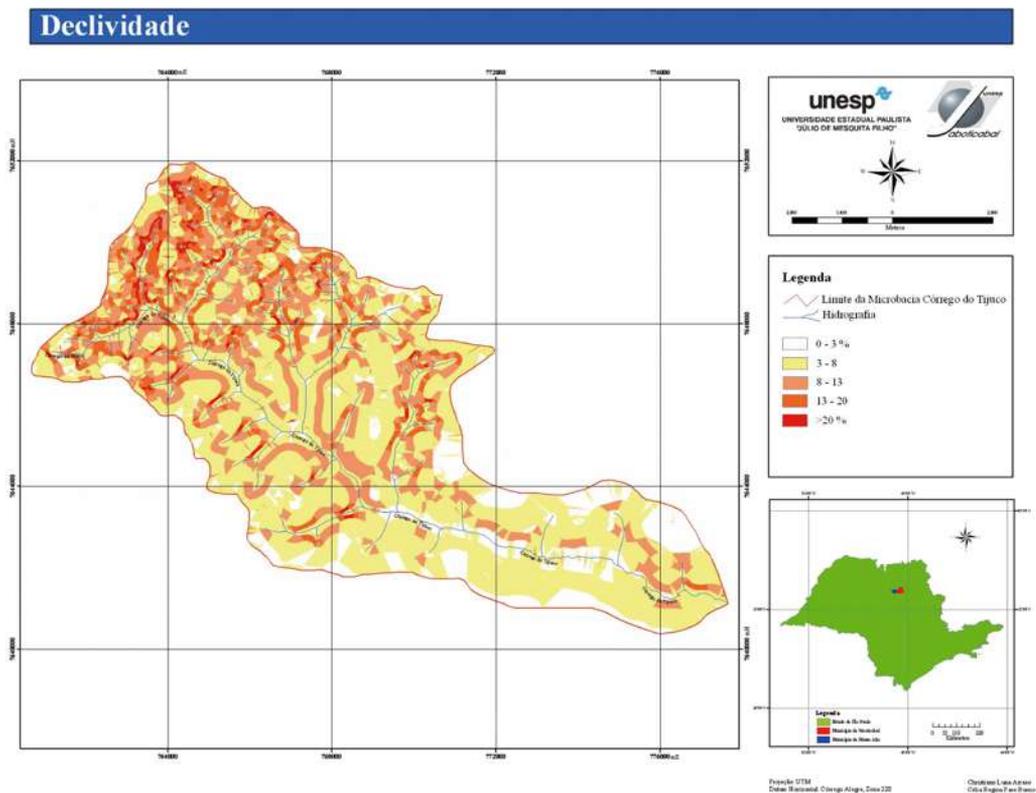


Figura 18. Mapa da Declividade para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

O fator comprimento da rampa (L) representa o comprimento das vertentes que contribui no escoamento das águas da chuva para rede de drenagem principal, a partir do divisor topográfico da microbacia.

O fator comprimento médio das encostas foi deduzido pela sua área de contribuição hídrica levando em consideração o rio principal, metodologia adotada também por VALLE JUNIOR (2008).

À jusante da microbacia às áreas onde a contribuição hídrica foi maior, obteve-se um maior comprimento médio de rampa, contribuindo assim para um maior valor do fator topográfico (Figura 7).

Para o fator topográfico da área de estudo observa-se a predominância de áreas entre valores de 1 a 5, seguida de áreas com valores de 5 a 10. (Tabela 6 e Figura 19).

Tabela 6. Classes de ocorrência do fator topográfico definidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Classificação	Classe definida	Área	
		ha	%
Muito baixo	< 1	446,4	5,5
Baixo	1 a 5	5323,4	66,4
Moderado	5 a 10	1789,0	22,3
Alto	10 a 20	423,0	5,2
Muito alto	> 20	26,5	0,3

Fator Topográfico

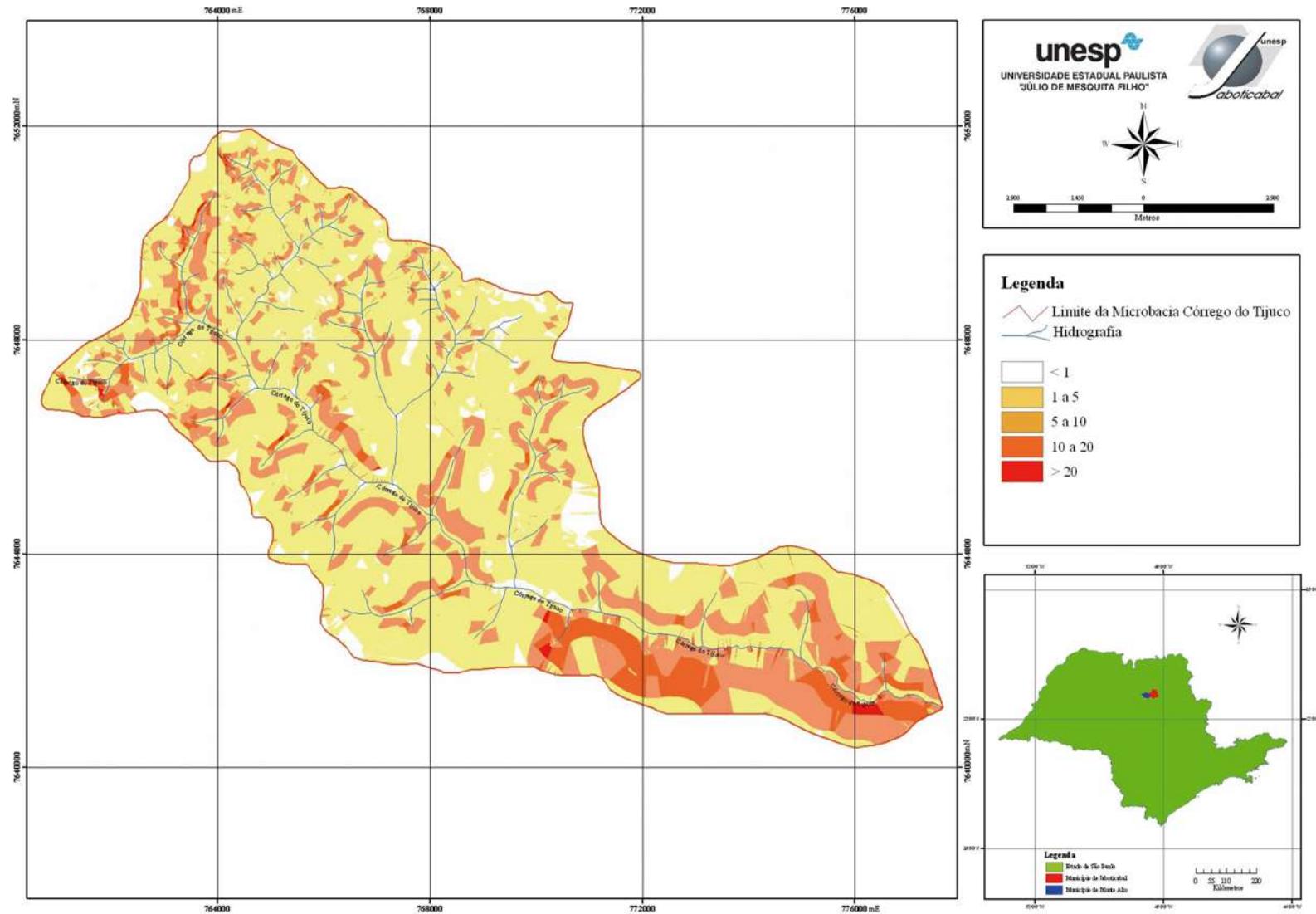


Figura 19. Mapa do Fator Topográfico para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Embora a bacia apresente um relevo predominantemente suave ondulado a ondulado (Figura 18), o fator (LS) exerce influência importante no processo erosivo principalmente à montante da microbacia onde o relevo é mais ondulado. Em contra partida, encontrou-se altos valores do fator topográfico (LS) à jusante da microbacia. Este fato se deve, principalmente, que para o cálculo do fator considera-se as áreas de contribuição hídrica, isto é, a superfície na qual ocorre o escoamento superficial da água da chuva. Entretanto, como os valores das áreas são maiores a jusante, denota-se os maiores valores do fator topográfico nestas áreas.

O mapeamento do fator LS tem sido utilizado como um dos parâmetros para a perda de solo anual e é de extrema importância para demonstrar áreas de maior ou menor comprimento de rampa, as quais podem ter maior velocidade do escoamento superficial das águas da chuva correspondendo ao maior processo erosivo. Estes resultados estão em concordância com os valores estimados por BATISTA et al. (1998) que utilizaram o método do retângulo equivalente para o cálculo do comprimento médio de rampa em microbacia.

4.4 Potencial Natural de Erosão (PNE)

O potencial natural de erosão (PNE) representa a perda de solo provocada exclusivamente pelos fatores naturais condicionantes da erosão. O potencial natural de erosão foi avaliado a partir dos fatores erosividade das chuvas, erodibilidade do solo e pelo fator topográfico. O fator climático, através da erosividade das chuvas, apresentou uma distribuição espacial quase constante, evidenciando pouca dispersão dos dados, o mesmo acontecendo com o fator erodibilidade do solo. Portanto a distribuição espacial do potencial natural de erosão foi mais influenciada pelo fator topográfico, constituindo assim no mapa da estimativa da erosão na Microbacia Córrego do Tijuco.

No mapa de distribuição espacial do potencial natural de erosão (Figura 20) observa o predomínio da classe muito alto, sugerindo que a área estudada tem uma tendência a apresentar forte suscetibilidade natural à erosão. Corroborando com esta afirmativa, a Tabela 7 mostra que 56,8% das terras da microbacia estudada se distribuem na classe muito alta de potencial natural de erosão. Sendo que 30 % das terras estão distribuídas na classe alta e moderada e que apenas 13 % pertencem as classes baixa e muito baixa.

Potencial natural de erosão

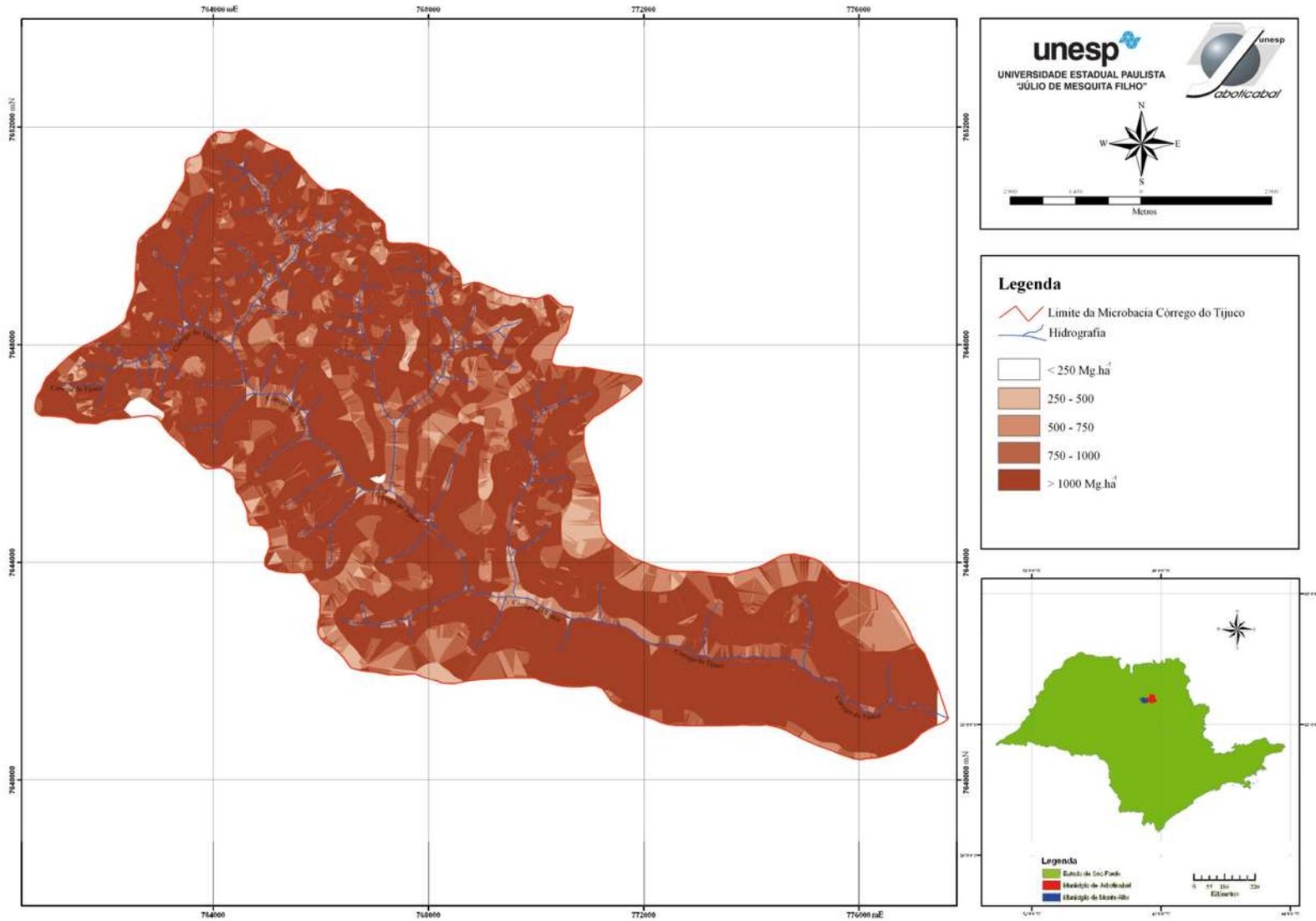


Figura 20. Mapa do Potencial Natural de Erosão para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Projção: UTM
Datum Horizontal: Córrego Alegre, Zona 22S

Christiano Lopes Amato,
Coleta, Edição, Fichas, Estreos

Tabela 7. Classes de ocorrência do potencial natural de erosão definidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Classificação	Classe definida	Área	
		ha	%
	Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹		
Muito baixo	< 250	255	3,2
Baixo	250 a 500	785	9,8
Moderado	500 a 750	1258	15,7
Alto	750 a 1000	1157	14,4
Muito alto	> 1000	4552	56,8

Para entender melhor a relação entre os fatores erosividade, erodibilidade e fator topográfico com o potencial natural de erosão, os mesmos foram confrontados com o plano de informação PNE, portanto procedeu-se com a operação estatística de regressão linear, executada no IDRISI (*Gis Analysis > Statistics > Regress*). Em todos os casos, a variável dependente é o PNE e a variável independente, os fatores R, K, LS da EUPS. Os valores dos coeficientes de correlação e determinação são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes de correlação e determinação entre os planos de informação de PNE, Erosividade (R), Erodibilidade (K) e Fator topográfico (LS).

Variáveis	Coeficiente de Correlação (R)	Coeficiente de Determinação (R ²)
		%
PNE x R	0,727	53
PNE x K	0,723	52
PNE x LS	0,985	97

Observa-se que a maior correlação ocorre com os valores do fator topográfico (0,985), que explica 97% do PNE, a seguir, a erosividade (0,727) que explica 53% do PNE e a erodibilidade (0,723), que explica 52% dos dados de PNE. Numa observação visual comparativa dos planos de informação PNE e o fator topográfico, observa-se uma forte associação do PNE com a distribuição espacial deste fator. Já a associação do plano de informação PNE com distribuição da erosividade e erodibilidade demonstra uma distribuição uniforme destes fatores em toda a área estudada.

No sentido de compreender o PNE, considerando o conjunto dos parâmetros (R, K, LS), procedeu-se com análise por regressão múltipla, e os resultados obtidos, explicaram 98,9% da variabilidade do comportamento do PNE da área de estudo (Tabela 9).

Tabela 9. Coeficientes de correlação e determinação da regressão múltipla para os dados originais do PNE.

Variáveis	Coefficiente de Correlação (R)	Coefficiente de Determinação (R²) %
Dados originais de PNE	0,994	98,9

4.5 Fator Uso e Manejo do Solo (C)

A ocupação atual das terras na Microbacia Córrego do Tijuco foi obtida de imagens orbitais do satélite CBERS – 2/CCD conforme metodologia já descrita. O mapa de ocupação atual das terras (Figura 21) mostra a distribuição das categorias de ocupação.

Uso e ocupação do solo

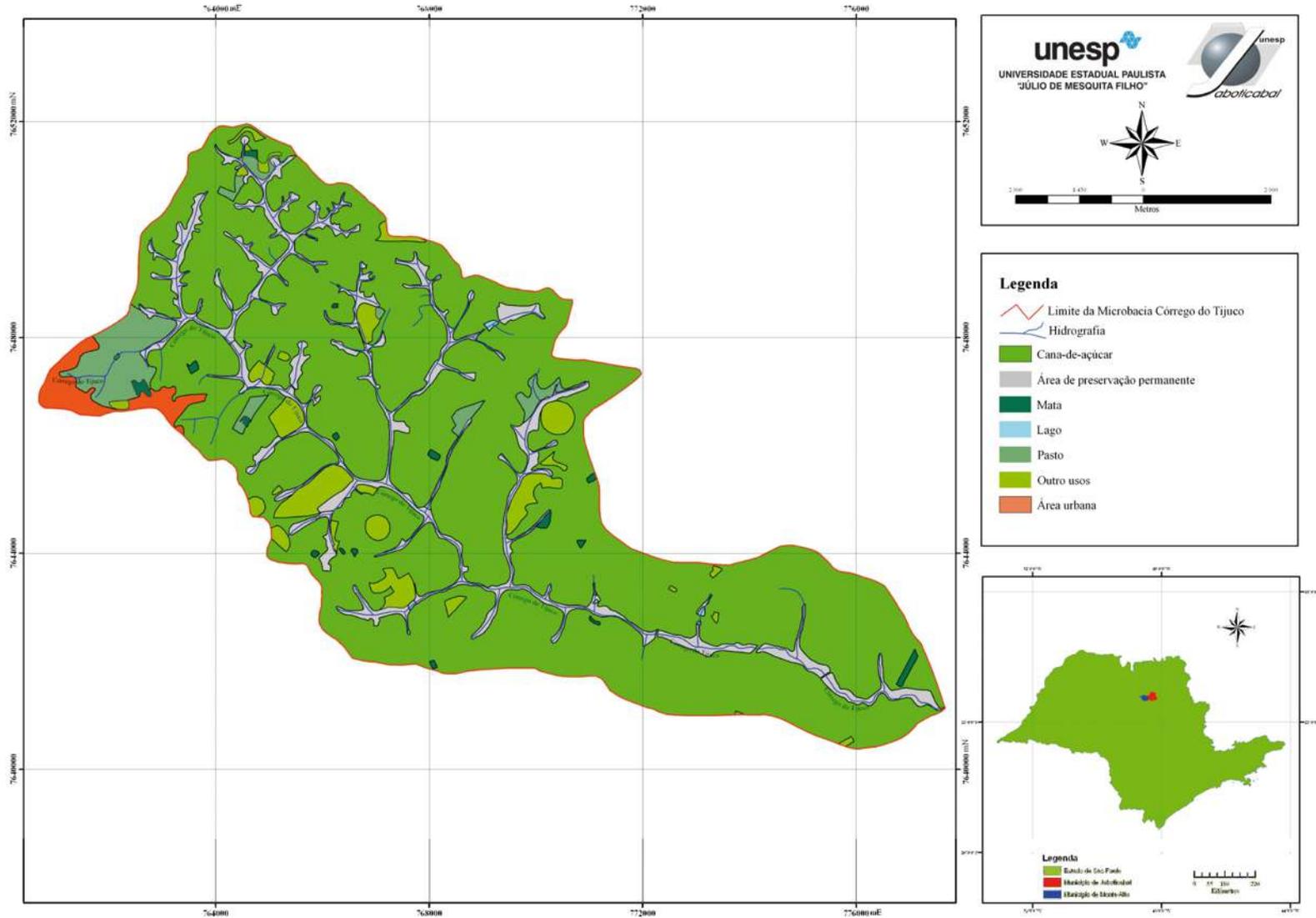


Figura 21. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Projeção: UTM
 Datum: Mercator, Córrego Alegre, Zona 22S

Christiano Letez Amato,
 Celia Regina Fav. Diniz

Foram observadas sete categorias principais: cana-de-açúcar, área de preservação permanente, mata, lago, pasto, outros usos e área urbana. Dentre as categorias, verifica-se que a cobertura vegetal natural (mata) cobre aproximadamente 0,5 % (40,5 ha) da área de estudo indicando o alto grau de desmatamento em virtude do avanço da agricultura, especialmente pelo plantio da cana-de-açúcar. As coberturas de porte baixo a médio, representadas principalmente pela cana-de-açúcar possuem uma forte concentração na área, ocorrendo de modo extensivo, correspondendo a 80,1% (6418,9 ha) da área de estudo. As coberturas de porte rasteiro a baixo, representadas principalmente pela pastagem com áreas de 3,4% (275,7 ha) ocorrem distribuídas à jusante da microbacia. Os outros usos representados por culturas perenes ou temporárias com 4,4% (353,2 ha) distribuem-se em pequenas propriedades agrícolas. Os espelhos de água são representados pelo lago com 0,1% (8,8 ha), as áreas de ocupação antrópica correspondem às aglomerações urbanas com 1,6% (130,9 ha) da área de estudo. Essa microbacia possui uma área aproximada de 9,7% (780 ha) com áreas de preservação permanente indicando um senso de preservação ambiental da atuação humana.

4.6 Fator Prática conservacionista (P)

No mapa do fator práticas conservacionista (Figura 22), observa que os altos valores encontrados para este fator (P) estão localizados a montante da microbacia, em áreas onde o relevo foi classificado como ondulado (13 – 20%) a forte ondulado (>20%) encontrou-se valores de 1 e 0,86 (adimensional) representando 24,2% e 8,9% da área de estudo respectivamente (Tabela 10).

Práticas conservacionistas

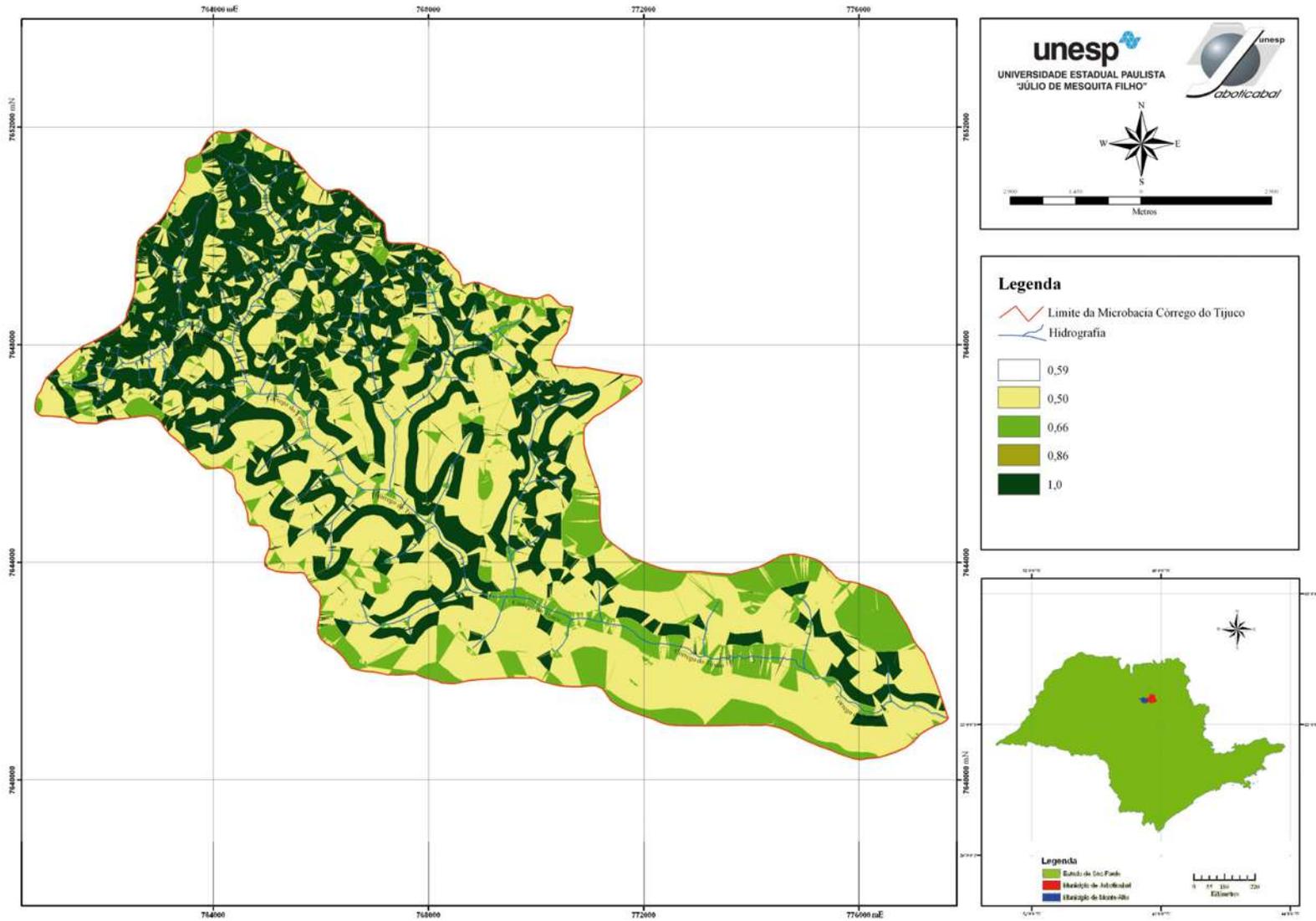


Figura 22. Mapa do Fator Práticas Conservacionistas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Projeção: UTM
Datum Horizontal: Córrego - Algeps, Zona 23S

Cartógrafo: Lucas Azeiteiro
Gênero: Folha Fzpac 23S - Esteiro

Tabela 10. Fator pratica conservacionista e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Classe de declividade	Fator (P)		Área	
	%	Adimensional	ha	%
0 – 3 (plano)		0,59	--	--
3 – 8 (suave ondulado)		0,50	4240,2	52,9
8 – 13 (moderadamente ondulado)		0,66	1108,4	13,8
13 – 20 (ondulado)		0,86	1945,7	24,2
> 20 (forte ondulado)		1,0	714,15	8,9

A expansão canavieira invadiu solos de alto potencial erosivo, indicando assim que se deve ter uma maior preocupação quanto a este fator, principalmente, porque é por meio das práticas conservacionistas adotadas que se tem uma melhor resposta na conservação do solo. Destacando que para estimar os valores da prática conservacionista utilizou-se a declividade do terreno, verificando-se uma relação direta entre os dois fatores. Em locais com altas declividades devem-se adotar práticas de conservação que minimizem os processos erosivos.

4.7 Perda de solo atual (A)

A partir do diagnóstico das perdas de solo por unidade de área por tempo ($\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) de uma bacia hidrográfica utilizando a Equação Universal de Perda de Solo, se torna possível avaliar os impactos causados pela abertura desordenada de novas fronteiras agrícolas, bem como identificar áreas de alto risco, fortemente propenso à erosão (CHAVES, 1994).

A aplicação da EUPS em ambiente SIG permitiu estimar e espacializar as perdas médias de solo associadas principalmente a erosão laminar e em sulcos

(WISHMEIER & SMITH, 1978), para as condições de uso e manejo da área de estudo.

No mapa da distribuição espacial da perda de solo (Figura 23) observa-se maior ocorrência de valores superiores a $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Tabela 11) em toda a área da microbacia, indicando uma situação crítica, onde a erosão é intensa e a degradação do solo acentuada, tendo a necessidade imediata de se traçar medidas para minimizar os processos que governam a perda de sol

Perda de solo

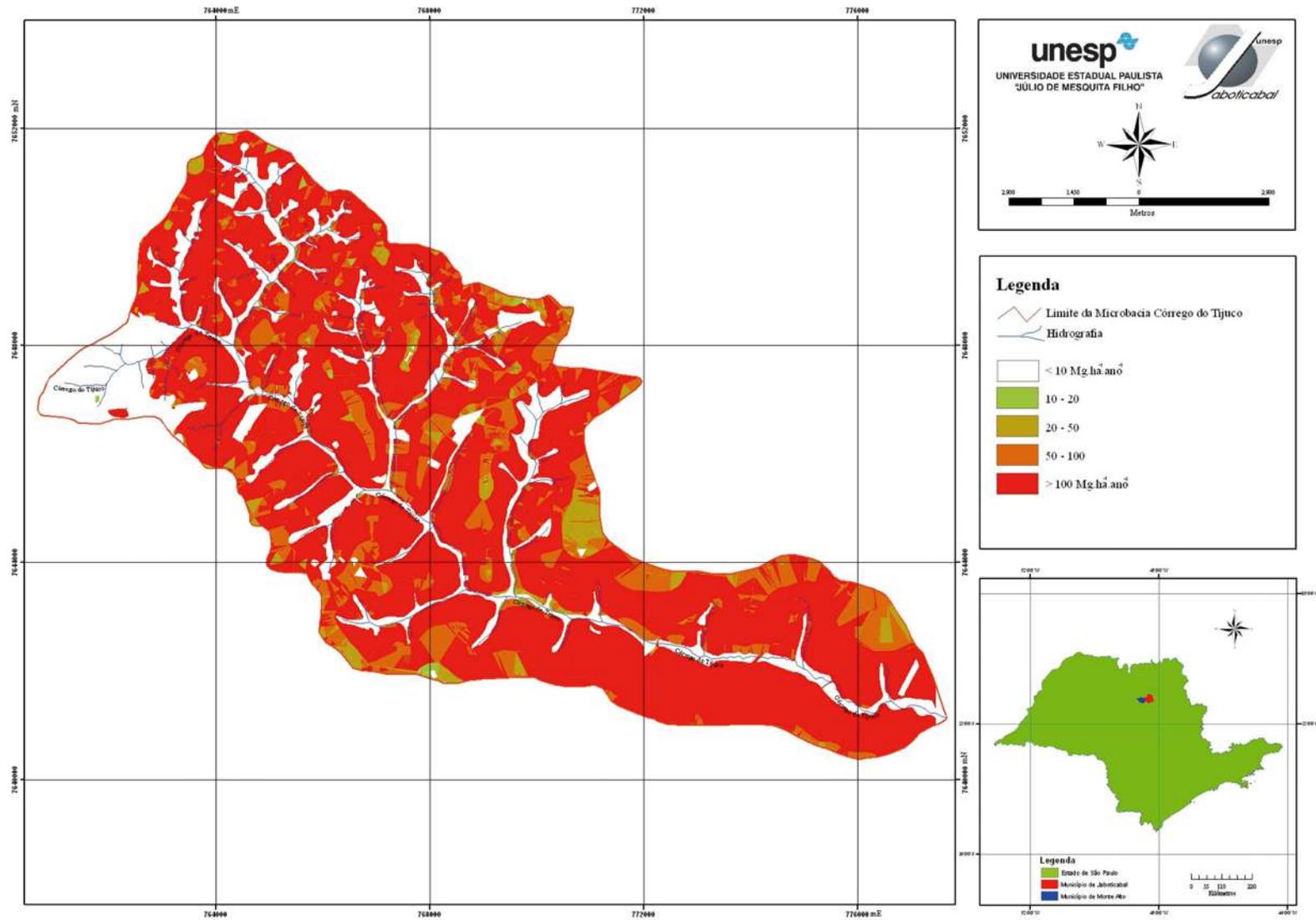


Figura 23. Mapa da Perda de Solo para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Projeção UTM.
Datum Horizontal: Córrego Alegre, Zona 22S

Christiano Lusa Asses
Cláudia Regina Passa Bueno

Tabela 11. Classes da ocorrência da perda de solo atual definidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) e suas respectivas áreas para a Microbacia Córrego do Tijuco, SP.

Classificação	Classe definida	Área	
	Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	ha	%
Muito baixo	< 10	1251,7	15,63
Baixo	10 a 20	28,5	0,36
Moderado	20 a 50	274,8	3,43
Alto	50 a 100	1041,4	13,00
Muito alto	> 100	5412,2	67,58

No entanto, as áreas de preservação permanente apresentam valores inferiores a 10 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ indicando assim que essas áreas, quando munidas de vegetação ciliar, são capazes de conter os processos erosivos. Na área urbana correspondente ao Município de Monte Alto, as perdas de solo também foram inferiores a 10 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, porém esse valor subestima a realidade, quando se adota o valor de 0,0 para o fator uso e manejo do solo (C) em áreas urbanas.

A relação entre os fatores erosividade, erodibilidade, fator topográfico, cobertura vegetal e práticas conservacionistas com a perda de solo, foram confrontados por regressão linear. Em todos os casos, a variável dependente é a perda de solo (A) e a variável independente os fatores da EUPS. Os valores dos coeficientes de correlação e determinação são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Coeficientes de correlação e determinação entre a perda de solo (A) e os planos de informação erosividade (R), erodibilidade (K), fator topográfico (LS), cobertura vegetal (C) e prática conservacionista (P).

Variáveis	Coeficiente de Correlação (R)	Coeficiente de Determinação (R²)
		%
A x R	0,60	37,0
A x K	0,60	36,6
A x LS	0,82	67,2
A x C	0,69	47,8
A x P	0,68	46,3

A maior correlação ocorre com os valores do fator topográfico (0,82), que explica 67,2% da perda de solo (A), mostrando que a perda de solo foi mais influenciada pela topografia do terreno. A seguir, aparece a cobertura vegetal (0,69) que explica 47,8% da perda de solo (A) isso se deve principalmente, a áreas em que a cobertura vegetal (C) é composta por vegetação ciliar, mata, pasto, corpos d'água e área urbana, os valores adotados são próximos a zero, reduzindo a perda de solo a valores inferiores a 10 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. O fator práticas conservacionistas tem uma correlação de 0,68 que explica 46,3% da perda de solo, provavelmente devido a influência da declividade do terreno no calculo deste fator. A correlação da erodibilidade do solo (0,60) e da erosividade da chuva (0,60), que explica 36,6% e 37,0% dos dados respectivamente, da perda de solo, é devida à distribuição uniforme destes fatores na área de estudo.

No sentido de compreender melhor a perda de solo, considerando o conjunto dos fatores (R, K, LS, C, P), procedeu-se com análise por regressão múltipla. O resultado obtido mostra uma correlação de 0,92 em que as 5 variáveis explicam 85,0% da perda de solo ocorrida na microbacia Córrego do Tijuco (Tabela 13).

Tabela 13. Coeficientes de correlação e determinação da regressão múltipla para os dados originais da perda de solo (A).

Variáveis	Coeficiente de Correlação (R)	Coeficiente de Determinação (R²)
		%
Dados originais de A	0,92	85,0

4.8 Expectativa de erosão (EE)

Para definir a expectativa de erosão da área de estudo foram utilizados os fatores C_{Patual} e C_{Ptolerável} (tolerância à perda de solo/potencial natural de erosão), isto resultou da diferença entre a ocupação atual e a ocupação tolerável das terras. Essa diferença fornece indicadores numéricos de menor ou maior possibilidade da presença de erosão. Assim, quando o resultado for positivo, espera-se a manifestação dos processos erosivos, e quando for negativo ou nulo indica que os fatores de ocupação estão compatíveis com a capacidade de uso da terra.

Portanto, na área estudada a variável EE resultou em maiores áreas com valores positivos (6558 ha), indicando uma expectativa da manifestação dos processos erosivos. No restante da área, os valores negativos (1450 ha) coincidem principalmente com áreas próximas as cabeceiras e ao longo da rede de drenagem, indicando condições nas quais a ocupação não incrementa o conjunto de fatores do meio físico no sentido de favorecer as perdas de solo por erosão (Figura 24).

Expectativa de erosão

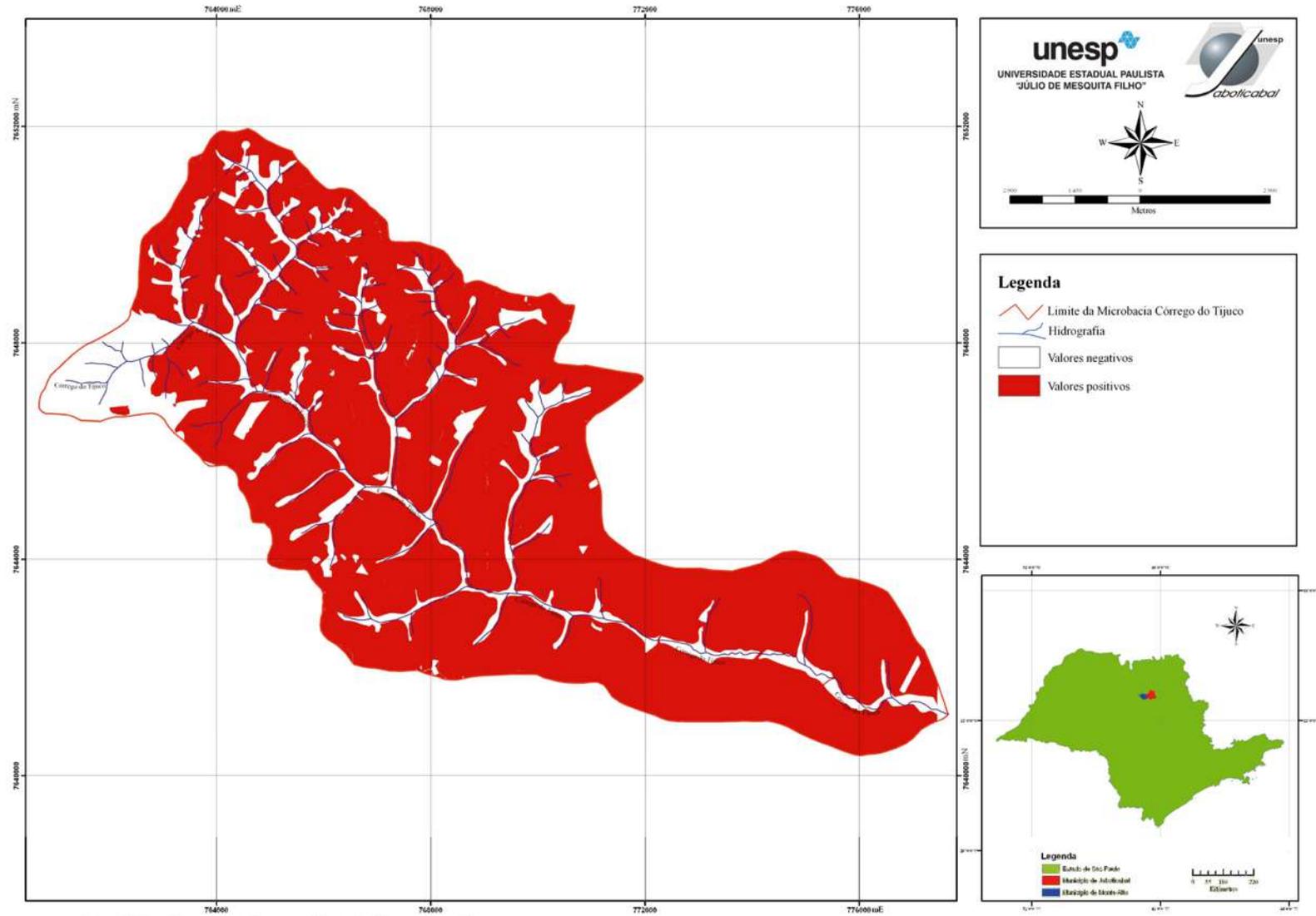


Figura 24. Mapa da Expectativa de Erosão para a Microbacia Córrego do Tijucu, SP.

Projeto: UTD
Dados: Horizontal - Córrego - Abrejo - Zona 22S

Cláudio Luis Amato
Coba Regiao Fac. Engen.

De acordo com esses resultados, há áreas onde a ocupação atual está em desequilíbrio com as condições ideais de uso da terra, correspondendo a 6558 ha da microbacia. Deve-se notar que a influência do PNE alto é mais efetivo que a da Ocupação Atual na definição de áreas de EE positivas. Isto pode ser explicado pela relação inversa entre ocupação atual e PNE, como também pela abrangência de valores expressivos de PNE. Os valores deste, contrapostos aos índices toleráveis de ocupação, destacam a vocação da microbacia para suportar coberturas vegetais de porte baixo a rasteiro, as quais, por seu lado não têm grande expressão na área, tendo mais expressão a cultura da cana-de-açúcar.

A área estudada por seus altos valores de PNE, impõe severas restrições à ocupação. Toda e qualquer alteração em sua área, que afete a vegetação natural, provoca desequilíbrio, o que explica, pois, a dominância de áreas com valores positivos.

Os fatores de erosão na região de Brotas, que apresentam Argissolos e Latossolos foram de 34,99% para a expectativa de erosão positiva, ou seja, o uso atual das terras está adequado, considerando os fatores do meio físico no sentido das perdas de solo por erosão, em trabalhos de BUENO & STEIN (2004).

Dentre os fatores envolvidos na definição da EE, a ocupação atual é aquela de influência individual mais efetiva. Por outro lado, a correspondência entre EE positivas e PNE traz implícita a correlação com valores máximos de K e LS.

O predomínio de valores positivos não pode ser tomado como expressão da perda de solos na área, também valores negativos não implicam em ausência da erosão, mas apenas e tão somente em áreas que possuem uma ocupação adequada em relação à tolerância de perdas de solo ditadas pelas características do meio físico.

V. CONCLUSÕES

A aplicação do sistema de informação geográfica permite o mapeamento das erosividade da chuva e erodibilidade do solo com resultados satisfatórios para o bom entendimento da distribuição espacial destas variáveis, e eficiência das que as técnicas de interpolação "*krigagem*" para a geração dos mapas.

Os vários níveis de PNE têm sua distribuição em área condicionada principalmente pelo fator topográfico e pela erodibilidade do solo.

A perda de solo foi mais influenciada pela topografia do terreno e pela cobertura vegetal e refletem uma situação crítica, onde a erosão é intensa e a degradação do solo acentuada, com valores superiores a $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A expectativa de erosão é positiva para 82 % da área, onde a ocupação incrementa o conjunto de fatores do meio físico no sentido de favorecer as perdas de solo por erosão.

O uso de geoprocessamento e de álgebra de mapas proporciona condições básicas para inferir quanto ao diagnóstico e a estimativa das perdas de solo por erosão.

VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W. de; MARTINS FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.

ALVARES, C. A., SILVA, A. M. da. Características das vertentes e potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do ribeirão dos Pinheirinhos (Torrinha / Brotas - SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11. 2005, São Paulo. **Anais...** 1 CD-ROM.

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento**: relatório técnico apresentado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2000. 33 p.

ARS-USDA – Agricultural Research Service. **Predicting soil erosion by water**: a guide to conservation planning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USA, 1994, 130 p.

BATISTA, G. M. M.; EID, N. J.; OLIVEIRA, A. L. Utilização do método do retângulo equivalente modificado para o cálculo do comprimento médio de rampa de bacias hidrográficas, por meio de um SIG. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI – SIDRIS, 2.1998, Campinas, **Anais...** 1 CD-ROM.

BEASLEY, R. P. Erosion and sediment pollution control. Iowa State University Press, 1972, 320 p. (Heavy book).

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 657-668, 2000.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLES, A. P. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico Alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 541-549, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4, ed. Campinas: Ícone, 1999. 355 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Programa Nacional de microbacias hidrográficas**: manual operativo. Brasília: Coordenação Nacional do PNMH, . 1987. 59 p.

BRITO, J. L. S.; LIMA, S. C.; SHIKI, S.; MOREIRA, M. R. Uso do geoprocessamento na estimativa da perda de solos por erosão laminar em Iraí de Minas – MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998. **Anais...** p. 501-512.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 4 .ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 595 p.

BUENO, C. R. P. **Zoneamento da susceptibilidade à erosão dos solos da alta e média Bacia do Rio Jacaré-Pepira, SP., com vistas ao planejamento ambiental**. 1994. 137 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

BUENO, C.R.P.; STEIN, D. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1 p.1-5, 2004.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 4, p. 1071-1076, 1993.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. SOUZA, Z. M.; BARBIERI D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 419-426, 1997.

CHAVES, H. M. L. Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco: relatório final de consultoria. Brasília: CODEVASF / FAO, 1994. 35 p.

CHAVES, H. M. L.; SILVA, P. A.; CARLOS, R. J. Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional: O Caso do Vale do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, **Anais...**, p. 1961-1963.

DEMARIA I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 263-270, 1997.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 505-517, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 112 p

FELLER, C.; ALBRECHT, A.; TESSIER, D. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: CARTER, M.R.; STEWART,

B.A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton : CRC Lewish, 1996. Chap.8, p.309-352. (Advances in Soil Science).

FREITAS, L. F.; CARVALHO JR., O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; SOUZA, E. de; LOEBMANN, D. G. Determinação do potencial de erosão a partir da utilização da EUPS na Bacia do Rio Preto. **Espaço & Geografia**, v .10, n. 2, p. 431- 452, 2007.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis - advanced course**. Madison: Prentice-Hall, 1979. 895 p.

LAGROTTI, C. A. A. Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP: estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim. 2000. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny : Soil and Water Conservation Society, 1988. p.141-160.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOMBARDI NETO, F.; DEMARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DECHEN, S. C. F.; VIEIRA, S. R. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 71-75, 1988.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P. A.; DRUGOWICH, M. I. **Terraceamento agrícola**. Campinas: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. 39 p. (Boletim Técnico, 206).

LORANDI, R.; TAKEMOTO, F.; SALVADOR, N. N. B.; TORRESAN, F. E. Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do Córrego do Monjolinho (São Carlos, SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 53, p. 111-117, 2001.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MARQUES, J. Q. **A política de conservação do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1949. 73 p. (Boletim do Serviço de Informação Agrícola, 734).

MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PINTO, F. A. C.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1069-1076, 2006.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R., (eds.) **Methods of soil**

analysis: chemical and microbiological properties. Madison: Soil Science Society of America, 1982. Part 2, p. 539-579.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1410-1415, 2006.

NOGUEIRA, F. P.; DONZELI, P. L.; VALERIANO, M. M.; LOMBARDI NETO, F.; MACHADO, H. M. Adequação do uso e manejo do solo no planejamento agroambiental sustentado do município de Vera Cruz, SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS E ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, BA. **Anais...** 1 CD-ROM.

NOVO, E. M. L. M. **Projeto UTVAP:** análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens do Landsat para fins de levantamento do uso da terra. São José dos Campos: INPE, 1979. 64 p.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, n. 6, p. 815- 828, 1991.

PARANHAS FILHO, A. C.; FIORI A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na Bacia do Rio Taquarizinho-MS. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 52, p. 49-59, 2003.

PINTO, S.A.F. **Sensoriamento remoto e integração dos dados aplicados no estudo de erosão dos solos: contribuição metodológica.** São Paulo, 1991 Tese (Doutorado em Ciências/Geografia Física) ins - Universidade de São Paulo. 1991.

PIROLI, E. L.; BECKER, E. L. S.; BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S. Análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio - Santa Maria - RS, por Sistema de

Informações Geográficas e imagem de satélite. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 407-413, 2002.

PISSARRA, T. C. T. Análise da **Bacia Hidrográfica do Córrego Rico** na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-LANDSAT 5 e fotografias aéreas verticais. 2002 136 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta para predição de perdas de solo por erosão laminar em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná. as ciências geodésicas nas políticas de desenvolvimento. Curitiba: Departamento de Geomatemática, 2005 v. 5, p. 288-304.

RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O. A. Análise **química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

RANIERI, S. B. L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 751-760, 1998.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, A. G.; PORTER, J. P. RUSLE: Revised universal soil loss. **Journal Soil and Water Conservation**. v. 46, n. 1, p. 30 - 33, 1991.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 3ª ed Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 1995a, 117 p.

ROSA, R. O uso de SIGs para o zoneamento: uma abordagem metodológica. 126 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995b.

RESENDE, M. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1992, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 32-67.

RESENDE, MAURO, CURI, NILTON, REZENDE, B. S., CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. NEPUT. 4ª Ed., Viçosa, MG. 2002. 338p.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007. Florianópolis, **Anais...** INPE, p. 3039-3046.

ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo. In: I SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, Campinas-SP, **Anais...** p. 3 - 6, 1996.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 241- 248, 1991.

SILVA, A. M. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba - SP - Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v. 8, p. 93-101, 2008.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Erodibilidade dos solos paulistas: levantamento de informações e estruturação de um banco de dados. **Geociências**, v. 24, p. 33-42, 2005.

SILVA, A. M.; RANZINI, M.; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Estudo integrado do processo erosivo numa microbacia experimental localizada no município de Cunha – SP. **Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 43-53, 2005.

SILVA, V. C. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 1, p. 29-34, 2003.

SOUTO, A. R.; CRESTANA, S. Identificação das áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 4, n. 3, p. 429-435, 2000.

STEIN, D. P.; DONZELI, P. L.; GIMENEZ, A. F., PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe-Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, 1987, Marília, SP. **Anais...** p. 105-135, 1987.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em Latossolo Vermelho eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 25, n. 1, p. 105-114, 2005.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A. Sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 57/03, p. 235-244, 2005.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar bacia do Rio Anta Gorda (PR). **Estudo Geográficos**. v. 1 n. 3, p. 1-21. 2005.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, n. 3, p. 429-441, 1979.

VALERIANO, M.M. Mapeamento do comprimento de rampa em microbacias com sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1541-1551, 2002.

VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 220 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal. 2008.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.1, p.175, 1983.

VILELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1975. 247 p.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I – Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de

sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 801-814, 2008.

WEILL, M. A. M.; ROCHA, J. V., LAMPARELLI, R. A. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçú (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** 1 CD-ROM.

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

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

VII – APENDICE

Tabela 14. Estatística descritiva para a variável erosividade da chuva (R, MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹).

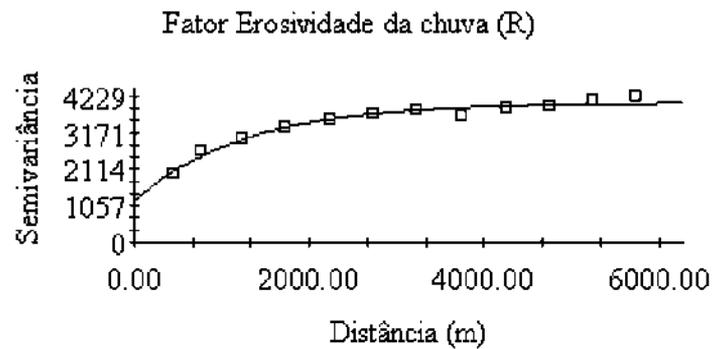
Variáveis	Valores		Média	Mediana	D.P	Coeficiente		**C.V%
	Mínimo	Máximo				Assimetria	Curtose	
R	7631	8062	7873,8	7874,0	78,4	-0,40	0,19	1,00

* Desvio Padrão

** Coeficiente de Variação

Tabela 15. Modelo e parâmetros estimados nos semivariogramas experimentais ajustados para a variável erosividade da chuva (R, MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹).

Parâmetros	R
	Modelo
¹ C ₀	1197,0
² C ₀ + C ₁	4044,0
³ a	3810,0
⁴ C ₀ /(C ₀ + C ₁)	0,704
⁵ R ²	0,965
⁶ SQR	2,56E+07



Exponential model ($C_0 = 1197.00000$; $C_0 + C = 4044.00000$; $A_0 = 1270.00$; $r^2 = 0.965$;
 RSS = 169964.)

Figura 25. Semivariograma ajustado ao resíduo do fator erosividade da chuva (R, $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), (C_0 ; $C_0 + C$; A_0 , R^2 , RSS); C_0 = efeito pepita; $C_0 + C_1$ = patamar; A_0 = alcance, R^2 = Coeficiente de determinação, RSS = Soma dos quadrados dos resíduos.

Tabela 16. Estatística descritiva para a variável erodibilidade do solo (K, Mg.ha.h/ha.MJ.mm).

Variável	Valores		Média	Mediana	D.P	Coeficiente		**C.V%
	Mínimo	Máximo				Assimetria	Curtose	
K	0,0232	0,0626	0,0430	0,0433	0,006	-0,40	-0,57	15,9

* Desvio Padrão

** Coeficiente de Variação

Tabela 17. Modelos e seus parâmetros estimados para o semivariograma experimental para a variável erodibilidade do solo (K, Mg.ha.h/ha.MJ.mm).

Parâmetros	K
Modelo	Gausiano
1C_0	0,000021
$^2C_0 + C_1$	0,000063
3a	13891,0
$^4C_0/(C_0 + C_1)$	0,66
$^5R^2$	0,961
6SQR	2,755E-10

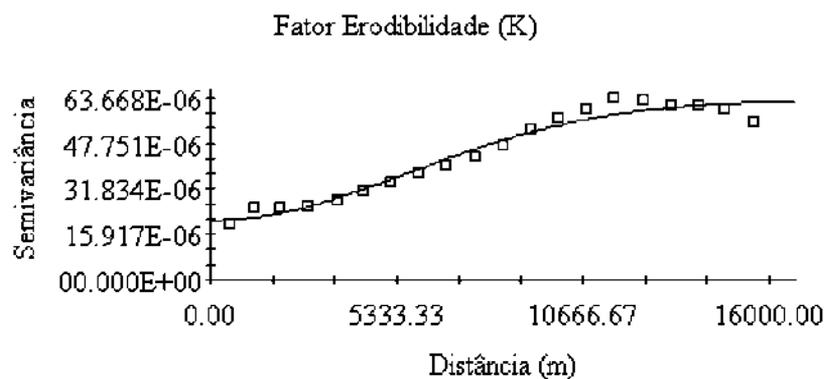


Figura 26. Semivariograma ajustado ao resíduo do fator erodibilidade do solo (K, Mg.ha.h/ha.MJ.mm), (C_0 ; $C_0 + C_1$; A_0 , R^2 , RSS); C_0 = efeito pepita; $C_0 + C_1$ = patamar; A_0 = alcance, R^2 = Coeficiente de determinação, RSS = Soma dos quadrados dos resíduos.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)