

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

**ESTIMATIVA DA EROSÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO  
GAMBÁ NO MUNICÍPIO DE MONTE ALTO, SP**

**Gabriel Ferreira Damasceno**

Geógrafo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2014

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

**ESTIMATIVA DA EROÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO  
GAMBÁ NO MUNICÍPIO DE MONTE ALTO, SP**

**Gabriel Ferreira Damasceno**

**Orientadora: Profa. Dra. Célia Regina Paes Bueno**

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2014

D155e Damasceno, Gabriel Ferreira  
Estimativa da erosão na microbacia do córrego do Gambá no município de Monte Alto, SP / Gabriel Ferreira Damasceno. -- Jaboticabal, 2014  
xiii, 92 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014  
Orientadora: Célia Regina Paes Bueno  
Banca examinadora: José Eduardo Corá, Peterson Ricardo Fiorio  
Bibliografia

1. Perda de solo. 2. Área de contribuição. 3. Sistemas de Informações Geográficas. 4. RUSLE. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.6.02

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** ESTIMATIVA DA EROSÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO GAMBÁ NO  
MUNICÍPIO DE MONTE ALTO, SP

**AUTOR:** GABRIEL FERREIRA DAMASCENO

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. CELIA REGINA PAES BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA  
(CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CELIA REGINA PAES BUENO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. PETERSON RICARDO FIORIO

USP / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Piracicaba/SP

Data da realização: 28 de novembro de 2014.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**GABRIEL FERREIRA DAMASCENO** – nascido em Monte Alto, São Paulo, aos 6 dias do mês de Maio de 1988, filho de José Carlos Gonçalves Damasceno e Silvia Aparecida Ferreira Damasceno. Formado em Geografia (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus Experimental de Ourinhos, no ano de 2012, em Ourinhos, SP. Durante a graduação foi bolsista de extensão (PROEX) por 3 meses, como monitor da disciplina de Geologia e bolsista de iniciação científica durante 24 meses, com bolsa cedida pela FAPESP, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo. No mesmo ano da conclusão da graduação, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista CAPES por 24 meses. Realizou atividades de estágio docência na disciplina de Geologia e Mineralogia para o curso de Agronomia, participa do Grupo de Estudos GEMAS (Grupo de Estudo em Manejo do Solo) credenciado pelo CNPq, atuando como colaborador em projetos de pesquisa, além de colaborar com projetos de extensão nas áreas de geoprocessamento e de educação ambiental com foco no ensino da formação e conservação de solos, Projeto ECOS. No ano de 2013 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

## O RIO E O OCEANO

*Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano ele treme de medo.  
Olha para trás, para toda a jornada, os cumes, as montanhas,  
o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados,  
e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar  
nele nada mais é do que desaparecer para sempre.*

*Mas não há outra maneira.  
O rio não pode voltar.  
Ninguém pode voltar.  
Voltar é impossível na existência.*

*Você pode apenas ir em frente.  
O rio precisa se arriscar e entrar no oceano.  
E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece.  
Porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano,  
mas tornar-se oceano.  
Por um lado é desaparecimento e  
por outro lado é renascimento.  
Assim somos nós.  
Só podemos ir em frente e arriscar.  
Coragem!  
Avance firme e torne-se Oceano!!!*

Osho

*"Quanto mais deixamos o mundo para os outros, mais o mundo nos pertence."*

Autor desconhecido

*Aos meus queridos pais, José e Silvia, por acreditar e me incentivar em todos os momentos, pelo amor incondicional.*

*Ao meu irmão André pela amizade e cumplicidade.*

**Ofereço e Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo, por me ter guiado meus passos e me abençoado colocando pessoas especiais no meu caminho.

Aos meus pais José e Silvia, por me apoiar em todas as minhas decisões, não me deixando desanimar nos momentos de dificuldades. A vocês meu muito obrigado. Ao meu irmão André, amigo verdadeiro. Amos vocês.

Ao meus tios-avós Angelo Tercini e Iracema Ungaro Tercini, que me recebiam nas férias escolares em sua Fazenda, Boa Esperança em Indiaporã (SP) e indiretamente me despertaram o interesse ao recurso natural SOLO e à Agronomia.

À querida orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Célia Regina Paes Bueno, a quem escolhi "à dedo", que confiei e fui confiado, contribuindo com a minha formação, disponível a todo momento, fazendo o possível para a viabilização deste trabalho. Agradeço a oportunidade e a amizade verdadeira construída nesses anos.

Quero agradecer a todos os membros do Grupo de Pesquisa GEMAS, que me ajudaram e me auxiliaram em todas as etapas da pesquisa. Ao Professor José Eduardo Corá que me apoiou e que também foi responsável por grandes aprendizados. Aos Professores Gener Tadeu Pereira e Antonio Sergio Ferraudo que me instruíram e me apoiaram todas as vezes que precisei. Gostaria de agradecer à Priscila Cruzato, Raquel Riposati e Jasmine de Freitas pelo apoio.

Aos meus amigos Matheus Oliveira e Júlio Demarchi, que me apoiaram e me ensinaram além de trabalhar com geoprocessamento, a ter paciência. Muito obrigado por tudo.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos da FCAV, a quem recorri e me ajudaram em todos os momentos: Dejair, Gomes, Ademir, Célia, Maria Inês. Ao pessoal da Seção de Pós Graduação, muito obrigado.

Agradeço aos meus professores da UNESP/Câmpus de Ourinhos, em especial à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Perusi, que me orientou na Graduação em Geografia, minha admiração e amizade eterna.

Aos amigos que conquistei na República: Leandro Moda, Ronaldo Simões, Bernardo Borges e Matheus Oliveira. Aos grandes momentos vividos nas repúblicas: República Ranchão e República Boi Banguelo. Às grandes amigas conquistadas em Jaboticabal: Renato Aquino, Vanessa Quagliariello,



Marcelino Farias, James Azevedo, Saulo Cardoso, Paula Oliveira, Liliane Campos, Fernando Franco, Daniela Miqueloni, Kaio Ragghianti, Guilherme Borges, Priscila Volante, Guilherme Castro, Igor Henrique, Carlos Eduardo Junqueira, Filipe de Freitas, André França.

À LXVII Turma de AGRONOMIA da FCAV - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Luís Rocheto, Rafael Almeida, Fábio Paranhos, Wendy Colombo, Gabriel Castro, Caroline Tardivo, Rafael Chioda, Letícia Santos, Vinícius Marin, Caio Pinhal, João Pedro Tomicioli da Silveira, Hugo Sampaio, Augusto Silva, Mariá Brenelli e Natália Bodelão. Aos meus amigos de Monte Alto, em especial ao Vinícius Ferreira, Natália Giancotti, Jairo Ohno, Alien Souza, Mariana Morelli, João Tercini e Heraldo Soares.

À Renata Costa, pelo apoio e por me incentivar nos momentos difíceis e pela dedicação, minha eterna admiração.

A todos os docentes da FCAV - UNESP/Campus de Jaboticabal que contribuíram na minha formação.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por dois anos de bolsa de mestrado concedida para a realização desta pesquisa. A todas as pessoas que contribuíram na elaboração deste trabalho, nas informações fornecidas e nos trabalhos de campo.

Meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

|  | Página |
|--|--------|
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....  | xii    |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....  | xiii   |
| <b>RESUMO</b> .....  | xiv    |
| <b>SUMMARY</b> .....   | xv     |
| <b>I. INTRODUÇÃO</b> .....   | 1      |
| <b>II. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....   | 2      |
| 2.1. Erosão hídrica e estimativa da perda de solo: necessidade de estudos para o planejamento do uso do solo ..... | 2      |
| 2.2. Propriedades do solo .....  | 5      |
| 2.3. Representação espacial de atributos do solo .....   | 8      |
| 2.4. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) .....     | 12     |
| 2.4.1 Erosividade da chuva (Fator R) .....   | 13     |
| 2.4.2. Erodibilidade do solo (Fator K) .....   | 15     |
| 2.4.3. Fator topográfico (Fator LS).....   | 17     |
| 2.4.4. Potencial Natural de Erosão (PNE) .....   | 19     |
| 2.4.5. Uso e manejo do solo (Fator C) .....  | 20     |
| 2.4.6. Práticas conservacionistas (Fator P) .....  | 21     |
| 2.4.7. Aplicações da USLE/RUSLE utilizando SIGs .....  | 23     |
| <b>III. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 26     |
| 3.1 Área de estudo .....   | 26     |
| 3.2 Amostragem do solo e análises realizadas .....   | 28     |
| 3.3. Análise geoestatística e elaboração de mapas .....  | 30     |
| 3.4. Material cartográfico .....   | 30     |
| 3.5. Imagens orbitais .....  | 31     |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6. Sistemas computacionais .....                                     | 31        |
| 3.7. Obtenção dos fatores do modelo RUSLE .....                        | 32        |
| 3.7.1 Cálculo da erosividade da chuva (fator R) .....                  | 32        |
| 3.7.2 Cálculo da erodibilidade do solo (fator K) .....                 | 33        |
| 3.7.3 Cálculo do fator topográfico (LS) .....                          | 34        |
| 3.7.4 Potencial natural de erosão (PNE) .....                          | 36        |
| 3.7.5 Mapeamento do uso do solo e uso e manejo (fator C) .....         | 37        |
| 3.7.6 Elaboração do mapa de práticas conservacionistas (fator P) ..... | 38        |
| 3.7.7 Elaboração do mapa de perda de solo da área de estudo (A) .....  | 38        |
| 3.7.8 Simulação de perda de solo com APPs restauradas .....            | 39        |
| <b>IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                | <b>39</b> |
| 4.1. Análise geoestatística dos atributos do solo .....                | 39        |
| 4.2 Fator K e Fator R .....  | 45        |
| 4.3. Fator LS .....  | 50        |
| 4.4 Potencial natural de erosão (PNE) .....                            | 55        |
| 4.5. Fator C .....   | 60        |
| 4.6. Fator P .....   | 63        |
| 4.7. Perda de solo da área de estudo (A) .....                         | 66        |
| 4.8. Simulação da Perda de solo com área de APP reconstituída .....    | 70        |
| <b>V. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>73</b> |
| <b>VI. REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>74</b> |
| <b>APÊNDICE .....</b>  | <b>87</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                  |   | <b>Página</b> |
|------------------|---|---------------|
| <b>TABELA 1</b>  | Especificações do satélite Landsat 8, sensor OLI .....  | 31            |
| <b>TABELA 2</b>  | Classes do fator cobertura vegetal .....  | 37            |
| <b>TABELA 3</b>  | Estatística Descritiva das variáveis estudadas .....  | 40            |
| <b>TABELA 4</b>  | Modelos, parâmetros dos semivariogramas e estatística dos erros da validação cruzada das variáveis estudadas .....                                      | 42            |
| <b>TABELA 5</b>  | Modelos, parâmetros dos semivariogramas e estatística dos erros da validação cruzada das variáveis estudadas .....                                      | 46            |
| <b>TABELA 6</b>  | Áreas correspondentes às classes da erodibilidade do solo, segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) .....                                | 48            |
| <b>TABELA 7</b>  | Áreas correspondentes à cada classe de erosividade da chuva..   | 50            |
| <b>TABELA 8</b>  | Classes de declividade da área de estudo .....  | 50            |
| <b>TABELA 9</b>  | Classes de ocorrência do fator topográfico (LS) definidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) .....  | 53            |
| <b>TABELA 10</b> | Classes de ocorrência do potencial natural de erosão (PNE) .....  | 55            |
| <b>TABELA 11</b> | Coeficientes de correlação e determinação entre fatores naturais (K, R, LS) e o Potencial Natural de Erosão (PNE) .....                                 | 58            |
| <b>TABELA 12</b> | Tipos de usos do solo .....   | 62            |
| <b>TABELA 13</b> | Classes de ocorrência do fator uso do solo (C) .....  | 64            |
| <b>TABELA 14</b> | Classes de ocorrência do Fator Práticas conservacionistas .....   | 65            |
| <b>TABELA 15</b> | Áreas correspondentes às classes de perda de solo, segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) .....  | 68            |
| <b>TABELA 16</b> | Coeficientes de correlação e determinação entre os fatores da RUSLE com a Perda de Solo .....   | 68            |
| <b>TABELA 17</b> | Áreas correspondentes às classes de perda de solo simulada com área de APP reconstituída, segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) ..... | 72            |

## LISTA DE FIGURAS

|                  |  | Página |
|------------------|--|--------|
| <b>FIGURA 1</b>  | Localização da área de estudo .....  | 27     |
| <b>FIGURA 2</b>  | Mapa Geológico do município de Monte Alto/SP .....   | 27     |
| <b>FIGURA 3</b>  | Mapa de localização da amostragem de solo .....  | 29     |
| <b>FIGURA 4</b>  | Procedimento de cálculo do fator LS com Usle2D .....   | 34     |
| <b>FIGURA 5</b>  | Fluxograma para obtenção das perdas de solo utilizando a<br>RUSLE .....  | 38     |
| <b>FIGURA 6</b>  | Mapas dos teores de (a) Areia total; (b) Areia muito grossa (c)<br>Areia grossa; e (d) Areia média do solo ..... | 43     |
| <b>FIGURA 7</b>  | Mapas dos teores de (a) Areia fina; (b) Areia muito fina; (c)<br>Silte; e (d) Argila do solo .....               | 44     |
| <b>FIGURA 8</b>  | Mapa do teor de Carbono Orgânico do solo .....   | 45     |
| <b>FIGURA 9</b>  | Mapa da erodibilidade do solo (Fator K) .....  | 48     |
| <b>FIGURA 10</b> | Mapa da erosividade da chuva (Fator R) .....   | 49     |
| <b>FIGURA 11</b> | Mapa de declividade da área de estudo .....  | 51     |
| <b>FIGURA 12</b> | Mapa do fator topográfico (Fator LS) .....   | 53     |
| <b>FIGURA 13</b> | Mapa do potencial natural de erosão (PNE) .....  | 57     |
| <b>FIGURA 14</b> | Processo erosivo ocorrido na área de estudo .....  | 59     |
| <b>FIGURA 15</b> | Mapa de uso do solo da área de estudo .....  | 61     |
| <b>FIGURA 16</b> | Mapa do Fator Uso do Solo (C) da área de estudo .....  | 63     |
| <b>FIGURA 17</b> | Mapa do Fator Práticas Conservacionistas (Fator P) .....   | 65     |
| <b>FIGURA 18</b> | Mapa de perda de solo da área de estudo .....  | 67     |
| <b>FIGURA 19</b> | Mapa da simulação da perda de solo da área de estudo, com<br>as áreas de APP florestadas .....                   | 71     |

## ESTIMATIVA DA EROSÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO GAMBÁ NO MUNICÍPIO DE MONTE ALTO, SP

**RESUMO** – O processo de ocupação do espaço de forma desordenada, a necessidade do aumento de áreas agropecuárias e novas áreas para a expansão dos centros urbanos, acarretam em prejuízos ambientais, como as erosões hídricas, que são agravadas devido à falta de utilização de práticas de manejo adequadas às particularidades do terreno e à falta de planejamento urbano, resultando em perdas exacerbadas de solos e comprometimento da qualidade dos corpos hídricos. Este trabalho teve como objetivo utilizar técnicas de sensoriamento remoto e de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), apoiado pelo modelo preditivo Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) em análises ambientais, para quantificar a perda de solo nas áreas de contribuições das nascentes do Córrego do Gambá localizada no município de Monte Alto/SP. Neste trabalho são apresentados os fatores preconizados pela RUSLE, como a Erosividade (R), Erodibilidade (K), Uso e Manejo do Solo (C), Práticas Conservacionistas (P), Fator topográfico (LS), obtidos em ambiente SIG, que permite a obtenção desses parâmetros para a elaboração dos mapas finais. Na microbacia hidrográfica, 65,7% da área têm perdas de solo menores que  $10 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Em relação à importância do planejamento do uso do solo, a maior parte da área de estudo é considerada pelos valores estimados como alta susceptibilidade à erodibilidade do solo, com valores entre  $0,03$  a  $0,04 \text{ Mg.h.MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ . Na estimativa do potencial natural de erosão, do total da área, 47,3% é classificada como muito alta, com alta correlação com o fator topográfico. A utilização integrada de SIG e RUSLE permitiu uma análise detalhada, permitindo apontar áreas de maior vulnerabilidade ao processo de perda de solo na área de estudo.

**Palavras-Chave:** perda de solo, área de contribuição, Sistemas de Informações Geográficas, RUSLE.

## **EROSION ESTIMATION AT THE GAMBÁ STREAM WATERSHED IN MONTE ALTO, SP**

**SUMMARY** - The process of occupying space in a disorderly way, the need to increase agricultural and new areas for the expansion of urban centers areas, result in environmental damage, such as erosion caused by water, which are aggravated due to the lack of use of appropriate practices to each unique terrain and the lack of urban planning management, resulting in exacerbated soil loss and compromised quality of water bodies. This work aimed to use remote sensing and Geographic Information Systems (GIS), supported by the predictive model Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in environmental analysis to quantify soil loss contributions in the areas of the springs the Gambá stream in the county of Monte Alto/SP. This work presents the factors recommended by RUSLE, as erosivity (R), erodibility (K), use and soil management (C), conservation practices (P), topographic factor (LS), obtained in a GIS environment, allowing to obtain these parameters for the preparation of final maps. Soil loss in 65.7% of the watershed studied, shows lower than  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . Regarding the importance of planning of land use, most of the study area is considered by the estimated values as high susceptibility to soil erodibility, with values between  $0.03$  to  $0.04 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . In estimating the erosion potential, the total area, 47.3% is classified as very high, with high correlation to the topographic factor. The use of integrated GIS and RUSLE allowed a detailed analysis, allowing pinpoint areas of greatest vulnerability to the process of soil loss in the study area.

**Keywords:** soil loss, contributing area, Geographic Information Systems, RUSLE.

## I. INTRODUÇÃO

O progresso da produção agrícola e da expansão urbana no estado de São Paulo, mais expressivamente a partir do início do século XX, foram alicerçados pela economia da cultura do café, resultou na apropriação crescente de terras férteis destinadas à expansão agrícola e pela implementação de estradas de ferro, o que causou intensa alteração da paisagem, principalmente em relação ao desmatamento de parte da vegetação nativa.

A erosão hídrica é a principal responsável pela degradação e limitação do uso do solo, tanto em ambiente agrícola como urbano, sendo um fenômeno de interesse de pesquisadores quanto à sua origem, desenvolvimento e controle, relacionados à variáveis ambientais e antrópicas específicas para determinados lugares como a precipitação, relevo, solo, uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas adotadas. Sua estimativa é importante para o planejamento do uso do solo, no que se refere à gestão e limitação do uso do solo, objetivando sua conservação, mantendo em baixos níveis a erosão hídrica.

A urbanização e a conseqüente impermeabilização do solo para edificações, decorrentes do crescimento das cidades, alteram a dinâmica do escoamento superficial das águas pluviais concentradas em canais. Quando as obras não são planejadas e executadas de forma correta, resultam na degradação do solo por erosões. Isto significa que os índices de ocupação são incompatíveis com a capacidade de suporte do meio. O problema se torna mais visível quando há um uso indiscriminado do solo em áreas que não dispunham de nenhum tipo de planejamento. A rapidez em que a erosão se desenvolve está além da resiliência do sistema, necessitando de práticas mecânicas para sua recuperação.

O avanço das geotecnologias e o aperfeiçoamento de técnicas de captação de dados da superfície terrestre por Sensoriamento Remoto possibilitam, cada vez mais, o monitoramento e a gestão de áreas, ampliando possibilidades de pesquisas, quanto às transformações do espaço, dinâmicas naturais e antrópicas, analisadas em diferentes escalas.



Os modelos de simulação, como os modelos matemáticos de predição de erosão, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS ou *USLE – Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA na década de 1950, e novas pesquisas e experiências realizadas ao longo do tempo com o intuito de melhorar as estimativas das perdas de solo, originou um novo modelo de predição da erosão denominado Equação Universal de Perda de Solo Revisada - *RUSLE* (Renard *et al.*, 1997), a qual se manteve a mesma estrutura da *USLE*, porém, com expressivas mudanças de determinação dos fatores. A *RUSLE* é um modelo de erosão elaborado para utilização na predição da perda de solo ( $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ), com ampla aplicação e validação de sua finalidade, tanto em condições agrícolas, como em locais de construção (RENARD *et al.*, 1997).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é estimar a perda de solo em parte da microbacia hidrográfica do córrego do Gambá, no município de Monte Alto/SP.

## **II. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Erosão hídrica e estimativa da perda de solo: necessidade de estudos para o planejamento do uso do solo**

Os quadros de degradação do solo não são facilmente reversíveis devido à lentidão dos processos de formação e regeneração. A produção agrícola é responsável pelos impactos ambientais negativos, como na década de 1990, que contribuíram para a degradação de 562 milhões de hectares de terras agricultáveis do mundo. Desde então, as perdas continuaram a crescer ano a ano, com 5 e 6 milhões de hectares todos os anos (OLDEMAN,1994; UNEP, 1997). Complementando, WRI *et al.* (1992) afirma que a forma mais conhecida de degradação do solo é a erosão, em que aproximadamente 2/3, decorre do escoamento superficial da água, enquanto 1/3 é causado pela erosão eólica.

A erosão hídrica é um processo natural, em escala geológica, porém é influenciada e acelerada pela ação antrópica, tendo como resultado a formação de ravinas e voçorocas, causando o assoreamento e eutrofização de corpos d'água. Seus efeitos podem ser minimizados por áreas florestadas, que em geral, são áreas protegidas, e potencializam a conservação do solo, da água. Em solos com cobertura florestal, a proteção exercida pelo sistema radicular, serrapilheira e a densa vegetação, conseguem juntos reter uma média de 70% do volume das precipitações, que contribui para a regularização da vazão dos rios e a melhoria da qualidade das águas, diminuindo o impacto negativo do uso do solo, como a perda de solo, principal fator de degradação em ambientes tropicais e subtropicais úmidos. (SILVA et al., 2011)

A erosão acelerada se inicia pelo escoamento das águas superficiais que exercem uma força de arrastamento de partículas minerais que variam de dimensão, desde a argila à areia, dependendo da velocidade do fluxo e o grau de desagregação das partículas, vinculadas às raízes das plantas ou sob uma camada de serrapilheira. (STRAHLER & STRAHLER, 2005)

A deformação do solo se acentua com as atividades humanas, variando com as condições de uso do solo ou por eventos naturais extremos, causando a erosão acelerada, que varia de acordo com a cobertura vegetal, com a condição física do solo e características do terreno. A dizimação da vegetação natural para fornecer terras para o cultivo, os incêndios florestais são o princípio de mudanças drásticas na interceptação da chuva pela vegetação, atingindo diretamente o solo mineral. (STRAHLER & STRAHLER, 2005)

De acordo com WEILL & PIRES NETO (2007) a erosão do solo é um fenômeno natural, praticamente impossível de ser estancado; comumente difícil de ser controlado, e facilmente acelerado pelo homem. Os referidos autores afirmam ainda que os fatores condicionantes da erosão, como o clima, o relevo, o solo, o substrato rochoso, a cobertura vegetal e quando presente o tipo de uso antrópico, podem estar relacionados, aumentando a intensidade e o grau de severidade da degradação.

As bacias e sub-bacias hidrográficas estão se consolidando, segundo SOUZA & FERNANDES (1998) como compartimentos geográficos adequados para planejamento

integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos tendo em vista o desenvolvimento sustentável no qual se combinam atividades econômicas com qualidade ambiental. SOUZA & FERNANDES (1998) conceituam bacia e sub-bacias por relacionarem ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica. SOUZA & FERNANDES (1998) afirmam ainda que toda bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, compondo, em relação à última, uma sub-bacia. Deste modo, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos.

Para tanto, a paisagem em uma sub-bacia, pode ser dividida em zonas hidrogeodinâmicas, como: zonas de recarga; zonas de erosão; zonas de sedimentação – várzeas. As chamadas zonas de erosão “se distribuem as vertentes em declives e comprimentos de rampas favoráveis a processos erosivos podendo ser acelerados pelo uso impróprio” (SOUZA; FERNANDES, 1998). Podem ser utilizadas para o cultivo com lavouras anuais/perenes e pastagens, desde que se tenha um manejo, utilizando métodos de conservação adequadas à cada situação.

Devido à alta taxa de degradação do solo, principalmente por erosões hídricas, houve a necessidade de quantificar e definir áreas de suscetibilidade utilizando de vários fatores, que de acordo com LIMA & ANDRADE (2001), se iniciou com a pesquisa e elaboração de parâmetros empíricos, como a EUPS, proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978). Tais modelos matemáticos de predição de erosão são importantes ferramentas na pesquisa e nas práticas agrícolas, que, aplicados no campo, tenham a função de auxiliar na determinação das práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes usos (CHAVES, 1996).

## 2.2. Propriedades do solo

De acordo com a EMBRAPA (2013) solo é considerado uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

As principais propriedades físicas do solo são: cor, textura, estrutura, consistência, densidade do solo, densidade da partícula e porosidade. A textura geralmente apresenta características compatíveis com a composição textural do material de origem. A textura de acordo com OLIVEIRA et al. (1992) está fortemente relacionada à estrutura, consistência, permeabilidade, capacidade de troca de cátions, retenção de água, fixação de fosfatos. De acordo com KIEHL (1979) conforme aumenta o conteúdo de areia de um solo, os teores de silte e argila devem, forçosamente, diminuir. Em relação à quantidade de água que um solo é capaz de reter, AZEVEDO & DALMOLIN (2006) afirmam que solos de textura argilosa têm uma proporção maior de microporos, mais importante na retenção que na transmissão de água. Da mesma forma, solos com grande densidade tendem a ter mais microporos. No entanto, se a densidade for alta, indicando compactação, a porosidade total é muito baixa e a retenção de água também. CURI et al. (1993) conceituam agregados do solo como um conjunto coerente de partículas primárias do solo com forma e tamanho definidos. Comporta-se, mecanicamente, como uma unidade estrutural. Se o agregado é formado artificialmente (pisoteio de animais, passagem de máquinas, etc.), denomina-se torrão; se, naturalmente, é denominado de ped. Já a consistência do solo, de acordo com FREIRE (2006) é a manifestação das forças de adesão e coesão, que agem na massa do solo, em consequência de variações do teor de água. À medida que aumenta a concentração de solo no sistema solo-água, a massa passa a não fluir, manifestando-se as forças de adesão e de coesão.

A densidade do solo, para BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) é o volume do solo natural, incluindo os espaços ocupados pelo ar e pela água, sendo variável e dependente da estrutura e compactação. Quanto maior a compactação menor será sua estruturação e, conseqüentemente, menor sua porosidade, sendo, portanto, mais vulnerável aos processos erosivos. KIEHL (1979) afirma a relação entre a densidade real com a matéria orgânica presente no solo, pois a presença desta faz baixar visivelmente sua densidade real, principalmente quando o teor de material húmico é superior a 3%. O volume e a natureza da porosidade de um solo estão correlacionados com outras propriedades, como textura, a estrutura, a densidade aparente, a umidade do solo, etc., influenciando direta e indiretamente, na infiltração, na permeabilidade ao ar e à água, na temperatura, na retenção da água e no crescimento das plantas, segundo a correlação feita por KIEHL (1979).

Sobre a densidade do solo REINERT & REICHERT (2006) afirmam que essa propriedade expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume do solo, no qual incluem o volume de sólidos e os poros do solo. Portanto, quando se modifica o espaço poroso, conseqüentemente altera a densidade do solo. O principal uso da densidade do solo é como indicador da compactação e como medida de alterações da estrutura e porosidade do solo. Assim, quanto maior for a densidade do solo, maior será a compactação e menor sua estruturação e porosidade, restringindo a infiltração da água e crescimento de plantas.

Outra propriedade física do solo é a densidade das partículas, que de acordo com REINERT & REICHERT (2006) expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido do solo. Logo, não considera a porosidade do solo e não se altera com o manejo. Depende primariamente da composição química e composição mineralógica do solo.

Quanto à porosidade, SILVA (2005) define como volume não ocupado pelos sólidos do solo e sim pelo ar e pela água. A importância está no fato de que é através da porosidade que ocorre a transferência de sólidos, líquidos e gases no interior do solo, assim como da atividade biológica.

À medida que a água infiltra no solo, das camadas superiores às inferiores, alteram assim gradativamente a umidade do solo, tendendo à saturação em toda sua profundidade, sendo a camada superficial a primeira a saturar, decrescendo nas inferiores. A infiltração da água no solo depende em diferentes graus e fatores que podem ser divididos e relacionados ao solo, à superfície, ao preparo e manejo do solo, entre outros, os quais exercem influência sobre uma das mais importantes propriedades do meio poroso, a condutividade hidráulica, que também recebe influência de um processo chamado encrostamento superficial (BRANDÃO et al., 2006). De acordo com BRANDÃO et al. (2006) o encrostamento superficial é um fenômeno causado pelo impacto das gotas da chuva sobre o solo, causando um rearranjo das partículas, o adensamento e consolidação de uma camada superficial.

Para tanto, a estrutura e a textura são determinantes na quantidade, forma e continuidade dos macroporos, que são as características físicas mais influenciadoras da condutividade hidráulica e a estabilidade de agregados do solo. A condutividade do solo depende também das variações estruturais e da compactação. Em solos com textura grossa (arenosos), a quantidade de macroporos é maior que os de textura fina (argilosos), o qual se observa maior condutividade hidráulica e maiores taxas de infiltração. Em relação à densidade, constata-se que quanto mais denso for o solo, menor é a taxa de infiltração, resultado da redução da porosidade total e da macroporosidade (BRANDÃO et al., 2006).

A matéria orgânica desempenha a função na capacidade de armazenamento de água e na estabilidade de agregados, influenciando a erodibilidade dos solos (LIMA, 1987). A partir dessa informação, SILVA (1990) considera que elevados teores de matéria orgânica no solo contribuem para o aumento do tamanho dos agregados, tornando-os mais resistentes à dispersão e ao arraste pela enxurrada. Contudo, a presença da matéria orgânica no solo, dependendo da umidade, influencia a resistência ao cisalhamento do solo, que age na resistência do solo aos agentes erosivos, devido à menor densidade do solo, melhor desenvolvimento radicular e melhor estruturação do solo e resistência ao cisalhamento (ROCHA, 2003). Além da perda matéria orgânica,

SCHAEFER et al. (2002) a degradação do solo acarreta em perdas de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Entre os fatores para a avaliação do processo erosivo estão o clima, o relevo, as propriedades do solo, a cobertura vegetal e as práticas de mobilização do solo. Dentre as propriedades com maior grau de influencia no processo estão a textura, a estrutura e o teor de matéria orgânica do solo. A textura, que descreve a distribuição granulométrica das partículas do solo, condiciona a quantidade de água absorvida no perfil e a capacidade de produção de agregados, em solos arenosos, apesar de sua porosidade, quando se atinge o estado de saturação de água no solo e a ocorrência do escoamento superficial, a desagregação, o transporte e a deposição das partículas do solo, são facilitados, enquanto que em solos argilosos, apesar da capacidade de infiltração reduzida, a presença da argila, aumenta a agregação do solo, tornando-os mais resistentes à erosão. A estrutura está relacionada com a resistência do solo ao impacto das gotas de chuva, pois depende o grau de cimentação e/ou coesão das partículas. A matéria orgânica, que funciona como estabilizador dos agregados, evita a ruptura dos agregados, principalmente devido às partículas de argila (PACHECO & CATALÃO, 2010).

### **2.3. Representação espacial de atributos do solo**

A adoção de técnicas geoestatísticas é necessária para a análise de atributos do solo, pois se presume a existência de uma dependência da variação ao longo do espaço amostrado (SILVA, 2010). De acordo com TEIXEIRA et al. (2009) as propriedades do solo, a grande maioria apresenta dependência espacial, ou seja, a variável com uma determinada localização apresenta relação dependente dela mesma até uma determinada distância.

A geoestatística é uma ferramenta utilizada para estudar e analisar a variabilidade espacial de fenômenos, com base na teoria das variáveis regionalizadas. Os valores de uma variável têm relação direta com sua localização e distribuição no

espaço, conseqüentemente, são mais semelhantes em distâncias menores em relação às de maiores distâncias (VIEIRA et al., 1981; VAUCLIN et al., 1983; SILVA, 2010).

Através do semivariograma pode-se estimar essa dependência espacial e mapeá-la através de interpoladores geoestatísticos (e suas variantes) chamados de krigagem. Pode-se estimar o semivariograma através da equação 1:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Sendo que: O semivariograma,  $\gamma^*(\mathbf{h})$ , é uma função de  $\mathbf{h}$ , o qual ilustra a relação entre a variância das amostras e suas distâncias laterais.  $N(\mathbf{h})$  é o número de pares de valores medidos por  $Z(\mathbf{x}_i)$  e  $Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ , separados por uma distância  $\mathbf{h}$ .

Através desta relação, pode-se estimar a distância lateral entre as amostras objetivando aprimorar o número de amostras e sua variância. A distância em que um valor atinge a estabilidade, o limite da dependência espacial, no semivariograma, é chamado *alcance* ( $\mathbf{a}$ ) ou “range”, o qual representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si. O valor próximo à variância dos dados, dá-se o nome de *patamar* ( $\mathbf{C}_0 + \mathbf{C}_i$ ) ou “sill”. Os pontos situados em uma área de distância maior que o alcance são independentes, sendo assim, apresentam uma distribuição espacial aleatória e menos homogênea (TAKEDA, 2000).

No caso de amostras separadas por distâncias menores que o alcance, há correlações entre elas, permitindo interpolações para espaçamentos menores do que amostrados. Desta forma, o alcance, determina a utilização da geoestatística ou da Estatística Clássica, o que ressalta a importância do cálculo do semivariograma, que deve ser elaborado freqüentemente para dados de campo a fim de garantir as hipóteses estatísticas analisadas.

Um importante parâmetro do semivariograma é o efeito pepita ( $\mathbf{C}_0$ ), caracterizado pela medida que a distância ( $\mathbf{h}$ ) tende a zero e variação geralmente próxima de um valor finito (BURGESS & WEBSTER, 1980), isto representa a variação residual e aleatória, não retirada por amostragens próximas. Sendo assim, conforme  $\mathbf{h}$  tende à 0



(zero),  $\gamma(\mathbf{h})$  se aproxima de um valor positivo. O valor do efeito pepita mostra a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Para tanto, o  $\mathbf{C}_0$  pode ser considerado puro no caso de seu valor se igualar ao patamar, isso ocorre quando não há dependência espacial, sendo empregado para representar unicamente uma descontinuidade na origem e interpretado como independência espacial (UZUMAKI, 1994).

A krigagem é um procedimento de interpolação em geoestatística utilizada para obtenção de mapas espaciais de parâmetros do solo, a partir de amostragens (MARQUES JÚNIOR & CORÁ, 1998). Através deste método, pode-se alcançar um dos principais objetivos dos estudos sobre variabilidade espacial, que é a obtenção a partir de observações pontuais de informações para grandes áreas, com base em observações de valores da variável estimados em locais não amostrados (STEIN, 1995; VOLTZ et al., 1997). Para se estimar valores,  $\mathbf{z}^*$ , para um local qualquer,  $\mathbf{x}_0$ , que não se tem valores aferidos, admite-se uma estimativa que deverá ser uma combinação linear dos valores determinados, desta forma o estimador (Equação 2) será:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

Onde:  $\mathbf{N}$  é o número de valores medidos,  $\mathbf{z}(\mathbf{x}_i)$ , envolvidos na estimativa; e  $\lambda_i$  são os pesos associados a cada valor medido,  $\mathbf{z}(\mathbf{x}_i)$ . (ISAAKS & SRIVASTAWA, 1989).

Representado por um semivariograma experimental, o estimador linear ponderado calcula o valor dos pesos através da estimativa da estrutura espacial da distribuição das variáveis. A variação dos pesos é relacionada com a variabilidade espacial apresentado no semivariograma, tornando-se um eficiente interpolador. Tal estimador, para que tenha um ótimo resultado, não pode ser tendencioso e necessita ter variância mínima. A exigência de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. No caso da variância mínima significa que, apesar da existência de diferenças, ponto por ponto, entre o valor estimado e o medido, devem ser mínimas. Essa interpolação estatística é basicamente

semelhante à regressão linear múltipla, com certas diferenças no uso das matrizes utilizadas para resolver os sistemas (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

A distinção da krigagem de outros métodos tradicionais de interpolação, como o inverso da distância, a triangulação e a média das amostras locais, se dá por meio de três características: a estimativa fornecida pela krigagem pode ser maior ou menor do que os valores da amostra, sendo que as técnicas tradicionais estão restritas a faixa de variação das amostras; nos métodos tradicionais se utilizam distâncias Euclidianas para avaliar as amostras, sendo assim, no método da krigagem há uma vantagem por usar distância e geometria (relação de anisotropia) entre elas; por fim, uma diferença da krigagem dos métodos tradicionais, é que esta considera a minimização da variância do erro esperado, através de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou pelo grau de dependência espacial com a distância ou direção, isto é, através do semivariograma, covariograma ou correlograma. (ROSSI et al.,1994)

Os mapas de isolinhas podem ser confeccionados a partir dos valores interpolados com melhor precisão, uma vez que envolvem a análise do semivariograma para as estimações. De acordo com GOTWAY et al. (1996), a precisão dos mapas gerados pelo interpolador depende de vários fatores como a densidade amostral, a configuração da amostragem e da utilização de métodos de interpolação-predição, e se conclui que a krigagem e o método do inverso da distância são os métodos que melhor se adequam aos mais variados conjunto de dados, sendo que o último não leva em consideração parâmetros de dependência espacial. Dentre os tipos de krigagem existentes, o mais utilizado é a krigagem ordinária (KO), que considera a média local dos valores, em seguida se tem a krigagem simples (KS), que considerada como uma média global, exigindo que a soma dos pesos seja igual a 1.

## 2.4. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)

Um dos modelos mais utilizado na estimativa de erosão é a Equação Universal de Perda de Solo - USLE, proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978), contudo, novas pesquisas e experimentos foram realizados a fim de aprimorar sua utilização, originando um novo modelo denominado Equação Universal de Perda de Solo Revisada - RUSLE (RENARD et al., 1997). Tanto a USLE, como na RUSLE, se tem a mesma estrutura da equação (3), representada abaixo, porém a determinação de seus fatores mudou expressivamente.

$$A = R . K . L . S . C . P \quad (3)$$

Em que:

A = perda de solo calculada por unidade de área, em t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

R = fator erosividade da chuva, índice de erosão pela chuva, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>

K = fator erodibilidade do solo, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>

L = fator comprimento de rampa.

S = fator declividade, baseado nos valores da declividade.

C = fator uso e manejo do solo.

P = fator prática conservacionista aplicada (fatores antrópicos e adimensionais).

A USLE foi desenvolvida em 1954 por pesquisadores da Universidade de Purdue (EUA), baseado na análise de dados de escoamento superficial e perdas de solo obtidos em parcelas experimentais, em condições de chuvas naturais e simuladas. Os responsáveis para que a equação evoluísse para um modelo computacional foram WISCHMEIER & SMITH (1978), cujo objetivo é expressar a perda anual de solo em uma determinada área como produto de seis fatores (VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ et al., 1996).

Nos Estados Unidos, a USLE foi utilizada por muito tempo no planejamento conservacionista de propriedades agrícolas, a fim de definir as práticas conservacionistas e manejo do solo adequado (MURPHREE & MUTCHLER, 1980). Atualmente, se utiliza a RUSLE a qual se utiliza como base os mesmos dados da USLE (RENARD et al., 1997). Nos EUA é obrigatório o uso do modelo pelos produtores que utilizam incentivos oferecidos por órgãos oficiais. No Brasil, tanto a USLE como a RUSLE não estão sendo utilizadas regularmente devido à falta de dados para determinar seus fatores, dificultando sua acurácia (PROCHNOW et al., 2005).

A utilização do método tradicional para o cálculo da perda de solo através da RUSLE fornece como resultado a média, de um período de uma área considerada homogênea, não sendo possível uma análise minuciosa da variabilidade espacial da perda de solo e das áreas fornecedoras de sedimentos, sobretudo em áreas de relevo acidentado. Porém, a aplicação da RUSLE utilizando um Sistema de Informações Geográficas permite a discretização espacialmente dos fatores que fazem parte do cálculo da equação, independente da complexidade espacial dos fatores, como de microbacias e vertentes (UHDE et al., 2009).

#### **2.4.1. Erosividade da chuva (Fator R)**

A erosividade da chuva (fator R) expressa numericamente a capacidade da chuva, em uma localidade específica, em causar erosão em um solo desprotegido. É possível definir a potencial capacidade das chuvas em provocar erosão, denominada erosividade, e expressá-la através de um índice, como o  $EI_{30}$ . A erosividade, Fator "R" da Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978), é utilizada na predição de perdas de solo por erosão hídrica, o qual é calculado baseado na erosividade anual de um período de ao menos 20 anos, devido à grande variação do volume das chuvas no ano. Há uma grande variabilidade deste fator de uma região para outra, fazendo-se necessária para os estudos relacionados à erosão do solo, com benefícios no planejamento do preparo do solo e na semeadura.

O aprofundamento no conhecimento dos agentes erosivos é necessário para se

constituir um programa de conservação do solo, pois os prejuízos à este recurso natural são notáveis, como reflexos na diminuição da produtividade das culturas, pastagem e assoreamento de corpos hídricos, por exemplo. A erosividade é dependente da energia cinética do impacto das gotas da chuva na superfície e da intensidade da ocorrência da chuva (WISCHMEIER, 1959).

A erosividade em países de clima tropical é caracterizada conforme o padrão unimodal da distribuição da chuva e de seu alto potencial de erosividade (HUDSON, 1995), com ocorrência de maiores valores nos meses mais chuvosos, sendo estes os três primeiros do ano, diminuindo progressivamente os valores de erodibilidade no segundo semestre, acompanhando a baixa do volume de precipitações, conforme observado por vários pesquisadores (LOMBARDI NETO, 1977; COGO et al., 1978; CARVALHO et al., 1989; BERTOL, 1994; PISSARRA et al., 2000) conforme afirma HICHMANN et al. (2008), em seu trabalho que objetivou determinar a erosividade das chuvas no município de Uruguaiana, no Rio Grande de Sul, para subsidiar as pesquisas relacionadas à erosão do solo e aplicação de práticas conservacionistas.

A perda de solo influenciada pelas chuvas em áreas cultivadas é diretamente proporcional à energia cinética total da chuva ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ), equação 4, pela sua intensidade máxima ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ), baseado no período de 30 minutos, denominado índice de erosão ( $\text{EI}_{30}$ ), equação 5, conforme estabelecido por WISCHMEIER & SMITH (1978):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I \quad (4)$$

Sendo:  $E_c$  a energia cinética da chuva no segmento ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) e  $I$  a intensidade da chuva ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

$$\text{EI}_{30} = I_c + I_{30} \quad (5)$$

Sendo:  $\text{EI}_{30}$  é o índice de erosividade das chuvas, em  $\text{MJ mm ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ .

De acordo com RENARD et al. (1997), na RUSLE é utilizado o índice de erosão

EI (como porcentagem do índice de erosão anual) partilhado em vinte e quatro períodos, os quais são iniciados no 1º e no 16º dia de cada mês.

Em Campinas, LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992) realizaram estudos em que utilizaram vinte e dois anos de registro de precipitação e 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 anual de uma localidade, o que resultou em um modelo para o cálculo da erosividade da chuva.

#### **2.4.2. Erodibilidade do solo (Fator K)**

A intrínseca susceptibilidade de um solo a processos erosivo é expressa, quantitativamente, por sua erodibilidade (WISCHMEIER & SMITH, 1962). Tal propriedade do solo evidencia a relação dos processos que limitam o comportamento do solo em relação aos agentes erosivos (LAL, 1988). A erodibilidade é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: as que interferem na velocidade de infiltração da água do solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água; as que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

LOMBARDI NETO & BERTONI (1975a) analisaram sessenta e seis perfis, horizontes superficiais e subsuperficiais, de dois agrupamentos de solos do Estado de São Paulo (solos com horizonte B textural e com horizonte B latossólico), do qual se determinou a relação entre erosão e erodibilidade através da modificação do método preconizado por MIDDLETON (1930). Foi constatado que solos com horizonte B textural têm maior suscetibilidade à erosão que os solos com horizonte B latossólico, tanto em horizontes superficiais como nos subsuperficiais, sendo necessária a adoção de usos e manejos específicos para os dois agrupamentos de solos (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975a).

DENARDIN (1990) desenvolveu uma metodologia para o cálculo da erodibilidade dos solos por meio de parâmetros físicos-químico determinados no campo sob chuva

natural e/ou simulada, a partir de dados de erodibilidade de trinta e um solos do Brasil e quarenta e seis solos dos Estados Unidos, sua metodologia é utilizada.

A matéria orgânica é um dos elementos de maior influência no que se refere à qualidade do solo (MIELNICZUK, 1999). O acúmulo da matéria orgânica do solo varia sensivelmente ao sistema de manejo adotado, além de sua correlação com atributos do solo, os quais são empregados como indicador de qualidade. O acúmulo de matéria orgânica no solo influenciam em outros atributos, como a maior resistência à erosão, maior taxa de infiltração e retenção de água no solo, aumentos na capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no seqüestro de carbono atmosférico, na atividade e diversidade biológica do solo e na resistência a perturbações (VEZZANI, 2001; MIELNICZUK et al., 2003).

A relação entre o tipo de solo e sua disposição à erosão é explícita. Solos arenosos apresentam um alto índice de permeabilidade, no entanto a coesão entre as partículas de areia é baixa, favorecendo uma grande erodibilidade. Assim como Latossolos com textura argilosa, altamente permeáveis devido à sua estrutura que favorece a infiltração moderadamente rápida da água, a agregação das partículas como “falsos grãos de areia” provoca uma coesão muito fraca e elevada erodibilidade. Semelhantemente, os solos siltosos possuem uma grande erodibilidade (BIGARELLA, 2007).

O método proposto por DENARDIN (1990) foi utilizado por MIQUELONI & BUENO (2011), nas áreas de nascentes da Microbacia do Córrego do Tijuco, no município de Monte Alto, SP, que estimaram a erodibilidade média do solo (fator K) de  $0,04 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ; este método também foi utilizado por ARRAES et al. (2010) para a determinação da erodibilidade do solo na Microbacia do Córrego do Tijuco, localizada entre os municípios de Monte Alto e Jaboticabal – SP, com valores estimados maiores que  $0,04 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$  em Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos abruptos, com textura arenosa/média, e índices entre  $0,03$  e  $0,04 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$  em Latossolos Vermelhos Distróficos de textura média.

### 2.4.3. Fator topográfico (Fator LS)

A magnitude em que ocorre a erosão hídrica é influenciada pela distância a qual ocorre o escoamento superficial (comprimento de rampa), assim como pela declividade do terreno, representadas na USLE/RUSLE pelos fatores L e S, respectivamente, os quais são agrupados e designados pelo termo fator topográficos (LS). Este fator (LS) é resultado da união entre duas variáveis, o comprimento de rampa (L) e a declividade (S), que definem a proporção esperada de perda de solo em área unitária padrão, a partir de uma rampa de 22,13 m de comprimento e com uma declividade de 9% (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Desde o início dos estudos e aplicações da EUPS, o fator em que gerou o maior grau de dificuldade em seu cálculo foi o fator LS, que limitavam as pesquisas em áreas de relevo complexo, resultando em estimativas equivocadas da erosão do solo. Com o avanço nos estudos, foram desenvolvidas diversas fórmulas de cálculo do fator topográfico (SIMÕES, 2013).

No fator topográfico, o declive é responsável pela maior influência na perda de solo em comparação com o comprimento de rampa. No caso do LS possuir maior valor devido à declividade, na maioria das vezes, há uma proporcionalidade em relação à velocidade de escoamento superficial da água o que resulta em uma maior perda de solo (OLIVEIRA et al., 2010; SIMÕES, 2013). Dentre os fatores da USLE, ARRAES (2009) determinou que o fator LS teve a maior influência nos dados da perda de solo na microbacia do Córrego do Tijuco, nos municípios de Monte Alto e Jaboticabal/SP.

O desenvolvimento da equação que objetivou relacionar matematicamente a erosão do solo com a influência topográfica, foi de responsabilidade de pesquisadores, como MUSGRAVE (1947), SMITH & WHITT (1948) e WISCHMEIER & SMITH (1965 e 1978), o qual está integrada ao modelo da EUPS (USLE), seguidos por MCCOOL et al. (1987, 1989) responsáveis pela revisão do fator declividade (S) na EUPS, com foco no desenvolvimento de uma equação para declives moderados (<9%) e outra para declives acentuados (≥9%), a qual foi integrada à RUSLE (RENARD et al. 1997,



GARCIA RODRIGUEZ & SUÁREZ, 2010).

Através de novas tecnologias, a utilização de softwares, com destaque para o SIGs, responsáveis para que houvesse o desenvolvimento e o uso de diversos algoritmos, aplicações que permitiram a representação e análise da superfície do terreno, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), como no caso nas aplicações em análises do fator topográfico, que surgiram no final da década de 1990 (SIMÕES, 2013). De acordo com FELGUEIRAS (2012), o MDE é uma representação matemática computacional do comportamento de um fenômeno espacial que acontece numa determinada região da superfície terrestre. Esses dados são importantes recursos nas aplicações de geoprocessamento desenvolvidas nos SIGs.

VAN OOST & GOVERS (2000) da Universidade de Leuven desenvolveram o programa Usle2D para calcular o fator LS a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). Esta aplicação possibilita determinar o fator topográfico por meio da combinação da equação de DESMET & GOVERS (1996) para o comprimento de rampa (L) com os algoritmos da declividade (S) propostos por WISCHMEIER & SMITH (1978), MCCOOL et al. (1987, 1989), GOVERS (1991) ou NEARING (1997). Este software possibilita também estimar o fator LS de acordo com o comportamento do fluxo do escoamento como: o método Steepest Descent, o método Multiple Flow e o método Flux Decomposition. Estes métodos podem ser divididos em dois tipos: algoritmos de fluxo múltiplo; e os algoritmos de fluxo simples.

O método Steepest Descent, caracteriza-se em definir a direção do fluxo do escoamento de um pixel central para outro pixel vizinho considerando o maior declive. O método Multiple Flow, difundi o escoamento entre os pixels localizados em cota inferior ao pixel central, distribuindo o fluxo entre os pixels de modo proporcional ao produto da distância ponderada entre si, e do fator de ponderação geométrica. O método Flux Decomposition distribui o escoamento de acordo com a área e exposição da encosta (VAN OOST & GOVERS, 2000).

#### **2.4.4. Potencial Natural de Erosão (PNE)**

O Potencial Natural de Erosão (PNE) é um tipo de estimativa em que se desconsidera a intervenção antrópica (fatores C e P), além de qualquer tipo de cobertura do solo, ou seja, estima-se a suscetibilidade à erosão de uma área específica em relação às suas condições físicas (VALÉRIO FILHO, 1994).

Caracterizar o meio físico de uma determinada região se estabelece como ponto de partida para avaliar e planejar o uso e ocupação do solo a fim de adequar de modo coerente de acordo com as limitações naturais de uso, seja climática, topográfica e/ou pedológica (LEPSCH et al., 1991). Quando se representa espacialmente o PNE, é possível realizar com clareza uma interpretação do risco de erosão existente em relação às características do meio físico (SILVA et al., 2007).

As estimativas do PNE podem colaborar para ordenar e restringir o uso e ocupação de áreas com susceptibilidade à erosão, prevenindo desastres, como enchentes e deslizamentos de terra, gastos com infraestrutura, atraindo a atenção dos gestores locais para as regiões de maior fragilidade, principalmente áreas com relevo acidentado e com solos com alta erodibilidade (PEDRO & LORANDI, 2004).

Estudos realizados por ARRAES (2009) nos municípios de Monte Alto e Jaboticabal (SP), DEMARCHI (2012), no município de Santa Cruz do Rio Pardo (SP), evidenciaram que fator LS da USLE/RUSLE foi o de maior influência no Potencial Natural de Erosão, ambos os trabalhos utilizaram SIGs para a espacialização dos resultados, a fim de obter um panorama das áreas de estudos.

#### **2.4.5. Uso e manejo do solo (Fator C)**

O fator cobertura vegetal e manejo (fator C) equivale à razão entre a perda de solo (RPS) 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).

A quantificação da perda do solo de uma determinada área, mantida descoberta, é definida pelos produtos dos termos R, K, L e S da USLE/RUSLE. No entanto, a perda pode variar para mais ou para menos, dependendo da variação dos diversos tipos e seqüências de culturas sob o solo e práticas conservacionistas (FARINASSO et al., 2006). Há uma grande dificuldade na obtenção deste fator devido ao grande número possibilidades de combinações de práticas de manejo e rotações de culturas, concomitantemente ou separadamente em uma mesma área (DEMARIA & LOMBARDI NETO, 1997).

O fator C varia de zero a um, onde próximo de zero quando relacionados aos sistemas de manejo conservacionistas, e de um, aos sistemas convencionais e não conservacionistas. O fator cobertura vegetal e manejo tem uma grande amplitude de variação de acordo com a alteração da erosividade e erodibilidade, para cada cultura e tipo de manejo e cultivo do solo. Com isso, se tem grande dificuldade para determinar esse fator devido às várias possibilidades de combinações de erosividades, culturas, sistemas de cultivo e tipos de preparo e manejo, para cada tipo solo (BERTOL et al., 2001).

A manutenção dos resíduos de culturas, material orgânico composto por palhas ou cascas, é uma prática agrícola, que tem como finalidade a cobertura da superfície do solo, principalmente nas entrelinhas. A principal função da cobertura é a absorção da energia cinética da chuva, reduzindo a desagregação do solo, assim como diminuir a quantidade de solo transportado pela água da chuva. A relação do efeito da quantidade e da distribuição uniforme dos resíduos é diretamente proporcional ao controle da erosão (LOMBARDI NETO et al., 1988). Devido a essas características, o fator C é

considerado de extrema importância, por ter condições de alterações, que auxiliam na redução da erosão (RENARD et al., 1991).

Para a determinação do fator C da RUSLE é utilizado um método diferente da USLE. A razão média das perdas de solo (RPS) de um determinado uso e manejo do solo é obtida a partir da multiplicação dos fatores uso prévio do solo, cobertura do solo pela copa da cultura, cobertura da superfície do solo por resíduos, rugosidade da superfície do solo e umidade do solo. O fator C anual é determinado por meio da multiplicação de cada RPS pelo índice de erosão correspondente (determinado em períodos de 15 dias), do total dos produtos e pela divisão do índice de erosão anual (RENARD et al., 1997). Diversos pesquisadores como WISCHMEIER & SMITH (1978), BUENO (1994), DONZELLI et al. (1992), RIBEIRO (2000) e MATA et al. (2007) se propuseram a estudar e avaliar o fator C em diversos usos do solo.

#### **2.4.6. Práticas conservacionistas (Fator P)**

O fator P é a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista ou quando a cultura está disposta no sentido do declive. Em área sem proteção da cobertura vegetal, na maioria das vezes possui maior suscetibilidade à erosão em relação a uma área em que possua recobertura vegetal, o qual seu efeito dependerá do estágio de desenvolvimento da vegetação associada à seqüência de culturas e manejo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

Para as culturas anuais, as práticas conservacionistas mais comuns são: terraceamento, plantio em contorno, plantio em faixas de contorno e alternância de capina. Em áreas onde se é realizado o terraceamento, o comprimento do declive que será utilizado na determinação do valor do fator LS é o intervalo entre terraços. O fator P de uma área terraceada, portanto, terá o mesmo valor do plantio em contorno, sendo que, diminuindo o comprimento do declive, serão reduzidas as perdas de solo pela raiz quadrada do comprimento (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). O fator P (práticas conservacionistas) reflete o efeito destas práticas de conservação do solo, o qual expressa a relação entre a perda de solo com determinada prática, assim como a

influência da implantação da cultura no sentido do declive (morro abaixo) (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Para tanto, as práticas conservacionistas, possuem três grandes métodos: vegetativos; mecânicos; e edáficos. Os métodos vegetativos englobam o plantio em nível, o qual obedece às curvas de nível do terreno, outro método aliado, trata-se de culturas em faixas de rotação, outro método, é o chamado de culturas em faixas de retenção, exercendo o papel de barreiras vivas, que cercam as enxurradas, retendo quase todo o escoamento superficial, podendo ser utilizadas, por exemplo, a erva-cidreira, as leguminosas e a cana-de-açúcar (AMARAL, 1984). Os métodos mecânicos são utilizados como procedimentos que recorrem a estruturas artificiais adequadas ao terreno para reduzir o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e facilitar a infiltração da água, e englobam práticas como: terraços, canais escoadouros ou divergentes, bacias de captação de águas pluviais, barragens para a contenção da água decorrente do escoamento superficial (barraginhas), entre outras, sendo então aquelas que se utilizam de estruturas artificiais para reduzir a velocidade do escoamento superficial da água no terreno, intervindo nas fases mais avançadas do processo erosivo (PRUSKI et al., 2009). As práticas de caráter edáfico se caracterizam por modificações no sistema de cultivo que melhoram o controle da erosão e a fertilidade do solo, entre elas estão: o controle do fogo, a adubação verde, a adubação química, a adubação orgânica e a calagem (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

#### 2.4.7. Aplicações da USLE/RUSLE utilizando SIGs

Aplicações da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) estão sendo realizadas para estimar perdas de solo por erosão em regiões onde há disponibilidade de dados, que aliados aos SIGs, juntos aos analistas, se tornaram importantes na interpretação dos dados e no suporte à tomada de decisão.

As geotecnologias, especificamente o Sensoriamento Remoto e os SIGs, estão em crescente utilização em análises ambientais devido às suas características, como a flexibilidade e disponibilidade de operações de um sistema computacional, tornando mais ágil e rápido o modo de analisar as informações, como a de uso e ocupação de bacias hidrográficas (VELOSO et al. 2011). Fazer uso dessas tecnologias permite apontar áreas de maior vulnerabilidade à erosão em determinados locais, também minimizando tempo, tornando o procedimento mais dinâmico e com menores custos (SILVA & MARCOLA, 2011).

SERIO et al. (2008) aplicaram a USLE com o auxílio de SIG em três microbacias hidrográficas em assentamentos rurais na região leste do Estado do Ceará, detectando a ocorrência de áreas com maior fragilidade, relacionadas às maiores declividades, que resultam em uma maior influência nos processos erosivos.

VALLE JUNIOR (2008) utilizou SIGs para avaliar a ocorrência da erosão na bacia do rio Uberaba, e constatou que se tem correlação direta com o uso e ocupação do solo, caracterizada pela expansão territorial do agronegócio, principalmente com o plantio da cana-de-açúcar e do uso de pastagens degradadas, além disso, a susceptibilidade à erosão está associada à erodibilidade do solo e à geomorfologia da região, com perdas de solos estimadas superiores a  $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em áreas de maior declive, localizados nos divisores de água, encostas e topo de morros, correspondendo a  $303,79 \text{ km}^2$  da área da bacia do rio Uberaba, enquanto que as menores perdas de solos, até  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , se localizam em terrenos mais planos ( $1019,20 \text{ km}^2$ ).

DEMARCHI (2012) estimou a perda de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, no município de Santa Cruz do Rio Pardo/SP, através da

Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), empregando ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Em relação às classes de erosão, 68,35% da área corresponde à classe de baixa erosão ( $0$  a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), influenciados principalmente pelos fatores C e P da RUSLE.

LOPES et al. (2011) estimaram a perda de solos por erosão de uma microbacia localizada no semiárido do Estado do Ceará, através da combinação de SIGs e da USLE. A perda de solo estimada em 74% da área estudada correspondem a valores menores que  $11 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , localizadas em áreas mais planas e vegetadas e mais de 90% da área apresentou valores abaixo de  $37 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , sendo influência do fator topográfico.

XAVIER et al. (2013) estimaram as perdas de solo para a bacia do Rio Mamuaba, no estado da Paraíba, utilizando a USLE, onde seus fatores, R, K, LS e CP foram obtidos em ambiente SIG. A perda de solo na área variou de  $0$  a  $84 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Além disso, observou-se que o PNE que  $56,96\%$  da área total era muito baixo. Os autores avaliaram a integração da USLE e SIGs uma técnica eficaz na representação espacial das perdas de solo da bacia hidrográfica para a identificação das áreas com maior vulnerabilidade ao processo erosivo e da variabilidade espaço-temporal da precipitação.

ARRAES (2009) estimou a perda de solo na microbacia do Córrego do Tijuco no município de Monte Alto/SP, utilizando a EUPS, apoiada em técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, geoestatística e trabalhos de campo, e obteve como resultado que há intensos processos de degradação do solo, com valores superiores à  $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em que o fator topográfico, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas tiveram maiores influências na perda de solo.

CECÍLIO et al. (2009) comparou perdas de solo e água em uma bacia experimental localizada em Viçosa (MG), calculadas pelos modelos RUSLE e WEPP, apoiado em SIGs. A bacia foi dividida de acordo com as características do relevo em que no cálculo utilizando a RUSLE, foi mais próximo ao medido, evidenciando a eficácia do modelo.

PETAN et al. (2010) utilizou a metodologia RUSLE para a estimativa da perda do

solo e na identificação de áreas com elevado potencial erosivo na bacia do rio Leça, em Portugal. O modelo foi aplicado utilizando um Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS) através dos fatores preconizados pela RUSLE, onde se estimou uma média anual da perda do solo de 33,2 t/ha/ano, além de identificar que 31% da área é classificada como de risco de erosão moderado, com uma perda anual entre 12 e 50 t/ha, 18% como áreas de risco de erosão alto e 51% como áreas de risco de erosão baixo.

UHDE et al. (2009) aplicaram para o cálculo das perdas de solo o método da RUSLE, classificando com uma alternativa viável e eficiente, o acoplamento do modelo em ambiente SIG, permitindo a estimativa da perda de solo em áreas de grande complexidade, no caso, em uma topossequência de solos da Depressão Central do RS, com área de 0,65 ha e relevo suave ondulado. O mapa síntese foi calculado utilizando álgebra de matrizes, com perda média de solo de  $5,44 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

COSTA & SILVA (2012) analisaram a evolução das perdas de solo utilizando a USLE além de identificarem áreas com maior susceptibilidade à processos erosivos na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra, no estado da Paraíba, nos anos de 1974 e 2011 e observaram que as perdas de solo acima de  $20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  se concentraram nas regiões onde se tinha como uso a cana-de-açúcar, solo exposto, em áreas de relevo ondulado e de solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo.

LOURENÇO et al. (2013) aplicaram técnicas de análise espacial do meio físico utilizando ferramentas de SIGs com objetivo de elaborar o mapa de perda de solo, estimada pela RUSLE na bacia hidrográfica do Ribeirão Águas Clara, SP. Como resultado obtiveram baixo potencial de perda de solo, resultado da combinação de fatores, como, baixa erosividade, fator topográfico pouco expressivo e cobertura do solo adequada.



### III. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A área de estudo compreende as áreas de contribuição das nascentes do terço alto do córrego do Gambá, com coordenada central, Latitude 7644787,6 O e Longitude 758580,6 S (Córrego Alegre, Universal Transversa de Mercator, Zona 22 S), com aproximadamente 414 hectares, afluente do córrego Rico, localizado ao sul do município de Monte Alto, à nordeste do estado de São Paulo, na morfoescultura Planalto Ocidental Paulista, (Figura 1), mais especificamente no Planalto de Monte Alto entre 410 e 740 metros de altitude (ALMEIDA, 1964 e ROSS; MOROZ, 1997). Esse planalto se caracteriza por um relevo escarpado peculiar da região onde se localiza os divisores de água dos rios Tietê, Turvo e Mogi-Guaçu, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos, UGRHI-15.

A bacia hidrográfica do Córrego do Gambá, afluente do Córrego Rico, situa-se próxima à área urbana do município de Monte Alto/SP. A maior parte das nascentes está localizada no entorno da periferia da cidade, que se localiza na parte mais alta da Serra de Jaboticabal, caracterizada por ter sua borda marcada por escarpas.

Na região destacam-se platôs residuais sustentados por rochas do Grupo Bauru (Cretáceo Superior), Formação Marília, com forte cimentação carbonática e Formação Adamantina (Figura 2) (IPT, 1981). A Formação Marília na região de Monte Alto é composta por um conjunto de arenitos finos a médios, carbonáticos, maciços, com freqüentes níveis de arenitos conglomeráticos (MANZINI, 1990). A Formação Adamantina constitui-se da associação de arenitos finos a muito finos e lamitos siltosos, com intercalações de argilitos (FERNANDES & COIMBRA, 1996).

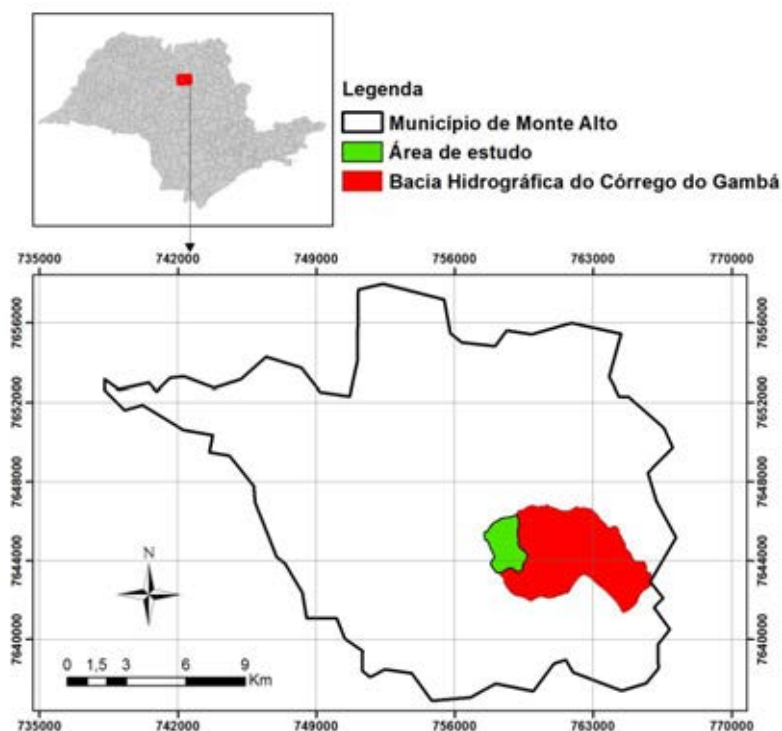


Figura 1. Localização da área de estudo.

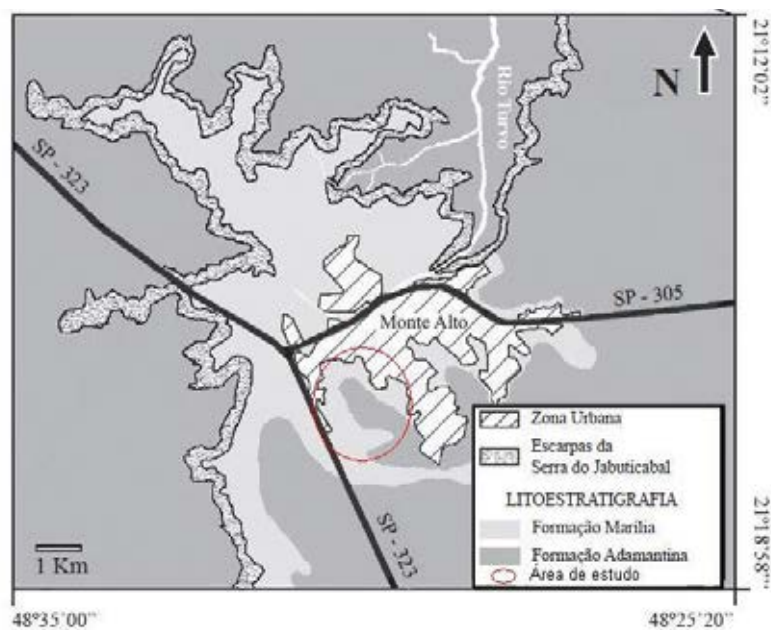


Figura 2. Mapa Geológico do município de Monte Alto/SP.  
Fonte: Adaptado de IORI & GARCIA (2012).

Os solos predominantes na região pertencem à classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos, com ou sem caráter abrupto, relevo suave ondulado e ondulado (OLIVEIRA et al., 1999).

O clima do município é classificado segundo THORNTHWAITE (1948), como B1rA'a', caracterizado por ser úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, megatérmico (expressão da evapotranspiração potencial, ETP, anual maior que 1140 mm) e evapotranspiração no verão menor que 48% da evapotranspiração anual.

De acordo com a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (IPT, 1994a) e o Mapa de Erosão do Estado de São Paulo (IPT, 1995), o terreno onde se localiza o município de Monte Alto apresenta grande ocorrência de processos erosivos e terrenos com alta suscetibilidade à erosão, devido às características intrínsecas da geologia e dos tipos de solos.

### **3.2. Amostragem do solo e análises realizadas**

Foram coletadas 207 amostras de solos na profundidade de 0 a 0,20 metros, em uma malha amostral georreferenciada (Figura 3), em uma distância média de 120 metros entre os pontos, em um gride não regular, para tanto, foi utilizado um GPS da marca Trimble, JUNO 3B. Determinou-se a granulometria das amostras (areia fracionada, silte e argila), conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). A análise química, para obter o teor de carbono orgânico (CO), foi realizada segundo o método descrito por RAIJ et al. (1987).

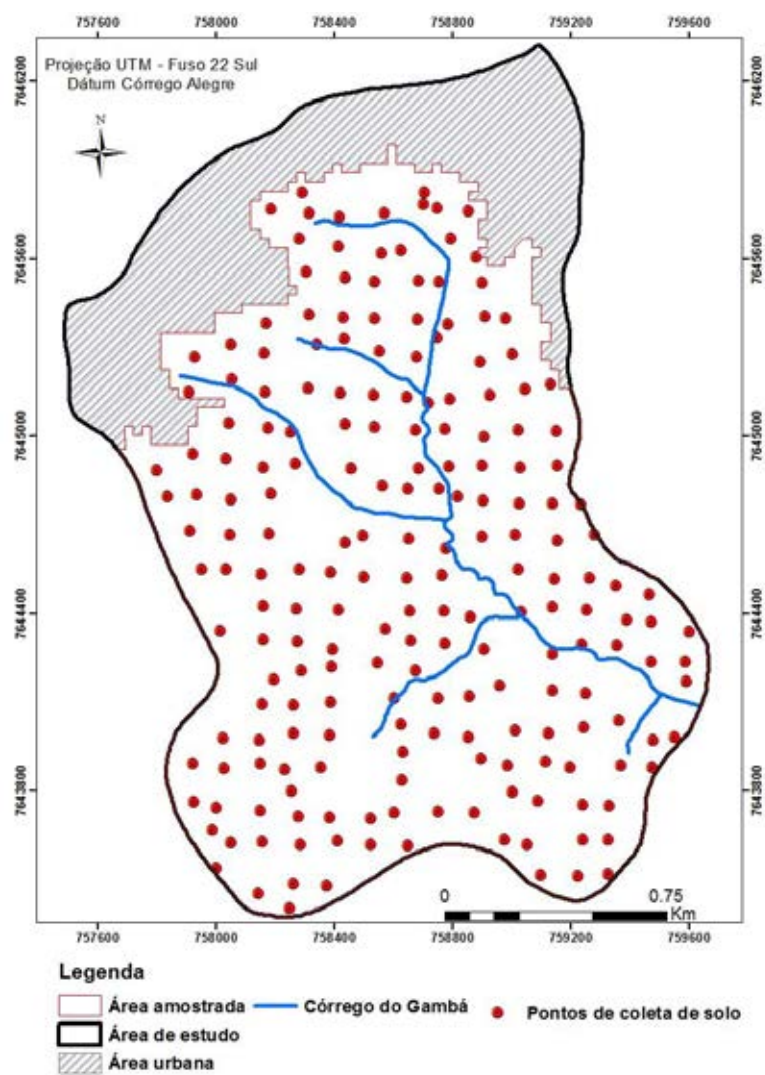


Figura 3. Mapa de localização da amostragem de solo.

### **3.3. Análise geoestatística e elaboração de mapas**

A espacialização dos valores das variáveis foi efetuada através da técnica geoestatística denominada krigagem ordinária. Para modelagem da variabilidade espacial das variáveis em análise foi utilizado o semivariograma como estimador (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), apresentado na equação 1, apresentada anteriormente.

Para a elaboração dos semivariogramas e seleção dos modelos da geoestatística dos atributos dos solos, utilizou-se o GS+®, versão 7.0 (ROBERTSON, 1998). Os resultados que subsidiaram a adoção do melhor modelo ajustado aos dados foram avaliados por meio de técnicas de validação cruzada, conforme descritas em ISAAKS & SRIVASTAVA (1989) através do módulo Geostatistical Analyst® do sistema ArcGIS®, versão 10.2, também utilizado para a elaboração dos mapas. As análises estatísticas descritivas foram realizadas pelo programa Minitab 14.

### **3.4. Material cartográfico**

A base de dados cartográficos, limite da área, rede de drenagem, dados topográficos (isolinhas e pontos cotados), das nascentes da Microbacia do Córrego do Gambá foram obtidos nas cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), folha Taquaritinga (SF-22-X-D-II-4) e Jabuticabal (SF-22-X-D-III-3), na escala 1:50.000, sistema de projeção UTM, datum horizontal Córrego Alegre-MG, datum vertical Marégrafo Imbituba-SC (IBGE, 1973). Para todos os mapas elaborados adotou-se o datum horizontal Córrego Alegre. Para materiais em outros datums, aplicou-se a conversão para Córrego Alegre.

### 3.5. Imagens orbitais

Utilizou-se para a elaboração do mapa de uso do solo, do fator C e P, imagem do Satélite Landsat 8, sensor Operacional Terra Imager (OLI), do mês de julho de 2013, contendo as características especificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações do satélite Landsat 8, sensor OLI

| Banda                  | Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ) | Resolução (m) |
|------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Band 1 Coastal aerosol | 0,43 - 0,45                           | 30            |
| Band 2 Blue            | 0,45 - 0,51                           | 30            |
| Band 3 Green           | 0,53 - 0,59                           | 30            |
| Band 4 Red             | 0,64 - 0,67                           | 30            |
| Band 5 NIR             | 0,85 - 0,88                           | 30            |
| Band 6 SWIR 1          | 1,57 - 1,65                           | 30            |
| Band 7 SWIR 2          | 2,11 - 2,29                           | 30            |
| Band 9 Cirrus          | 1.36 - 1.38                           | 30            |

### 3.6. Sistemas computacionais

Para a geração das bases de dados e sua posterior análise, foram utilizados os seguintes sistemas computacionais:

- GS+®, versão 7.0 (ROBERTSON, 1998) utilizado para testar e ajustar os semivariogramas.
- Idrisi Selva 17.0, da Clark Labs (EASTMAN, 2002), utilizado na geração do mapa do fator LS e para a elaboração do mapa de uso do solo;
- ArcGIS / ArcMap 10.2 (ESRI, 2013), utilizado na geração do mapa de declividade, processamento de imagens de satélite e álgebras de mapas;
- Usle2D, desenvolvido pela Katholieke Universiteit Leuven (VAN OOST & GOVERS, 2000), para a elaboração do mapa do fator topográfico (LS) da RUSLE;

- NetErosividade/SP, desenvolvido pelo GPRH (Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em parceria com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (MOREIRA et al., 2006), foi utilizado na determinação da erosividade da chuva (fator R).

### **3.7. Obtenção dos fatores do modelo RUSLE**

A metodologia utilizada na obtenção dos fatores da RUSLE para estimativa das perdas de solo nas áreas das nascentes da microbacia do Córrego do Gambá é apresentada a seguir.

#### **3.7.1 Cálculo da erosividade da chuva (fator R)**

O fator (R), importante na quantificação da energia produzida pelo impacto das gotas de chuva no solo, foi obtido segundo os dados fornecidos pelo programa *net Erosividade S.P.*, desenvolvido por MOREIRA et al. (2006), o qual calcula a erosividade da chuva para qualquer localidade do Estado de São Paulo, através de informações como latitude, longitude e altitude. Após a obtenção dos valores da erosividade, foi realizada a espacialização dos dados através da interpolação pelo método geoestatístico, denominado krigagem ordinária. O ajuste do semivariograma foi realizado no software GS+ e o mapa elaborado pelo ArcGIS 10.2.

### 3.7.2. Cálculo da erodibilidade do solo (fator K)

A quantificação da erodibilidade do solo foi estimada pelo cálculo do fator K, consistindo em um modelo matemático expresso em  $\text{Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , de acordo com o proposto por DENARDIN (1990), equação 6:

$$K = 7,48.10^{-6} M + 4,48059.10^{-3} P - 6,31175.10^{-2} \text{DMP} + 1,039567.10^{-2} R \quad (6)$$

Em que: M (%) = (areia muito fina + silte) x (areia muito fina + silte + areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina); P = valor da permeabilidade, determinado pelos valores: 1 = muito rápida, 2 = rápida, 3 = moderada, 4 = lenta, 5 = muito lenta, 6 = imperfeitamente drenado; DPM = diâmetro médio ponderado das partículas de solo menores que 2 mm, expresso em mm, equação 7; e R expressa na equação 8:

$$\text{DMP} = [(0,65 \times \text{areia grossa}) + (0,15 \times \text{areia fina}) + (0,0117 \times \text{silte}) + (0,00024 \times \text{argila})]/100 \quad (7)$$

$$R = [(\text{areia muito grossa} + \text{areia grossa} + \text{areia média} + \text{areia fina}) (\text{teor de matéria orgânica}/100)] \quad (8)$$

A espacialização dos valores de erodibilidade estimada foi realizada por método geoestatístico, denominado krigagem ordinária. Este método de interpolação é recomendado por VIEIRA (1997), por não subestimar nem superestimar valores e devido aos desvios em relação aos valores serem mínimos. Para a sistematização da classificação do mapa do fator K, adotou-se a classificação: muito baixa ( $<0,010 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ), baixa ( $0,010$  a  $0,020 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ), moderada ( $0,020$  a  $0,030 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ), alto ( $0,030$  a  $0,040 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ), muito alto ( $>0,040 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ), proposta por BERTONI & LOMBARDI NETO (2010).



### 3.7.3. Cálculo do fator topográfico (LS)

A utilização integrada de softwares (Figura 4), como o ArcGIS/ArcMap 10.2 (ESRI, 2013), o Idrisi Selva 17.0 (EASTMAN, 2002) e o Usle2D, versão 4.1, foi responsável pela elaboração do mapa do fator topográfico (LS) da RUSLE, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de nascentes da microbacia do Córrego do Gambá.

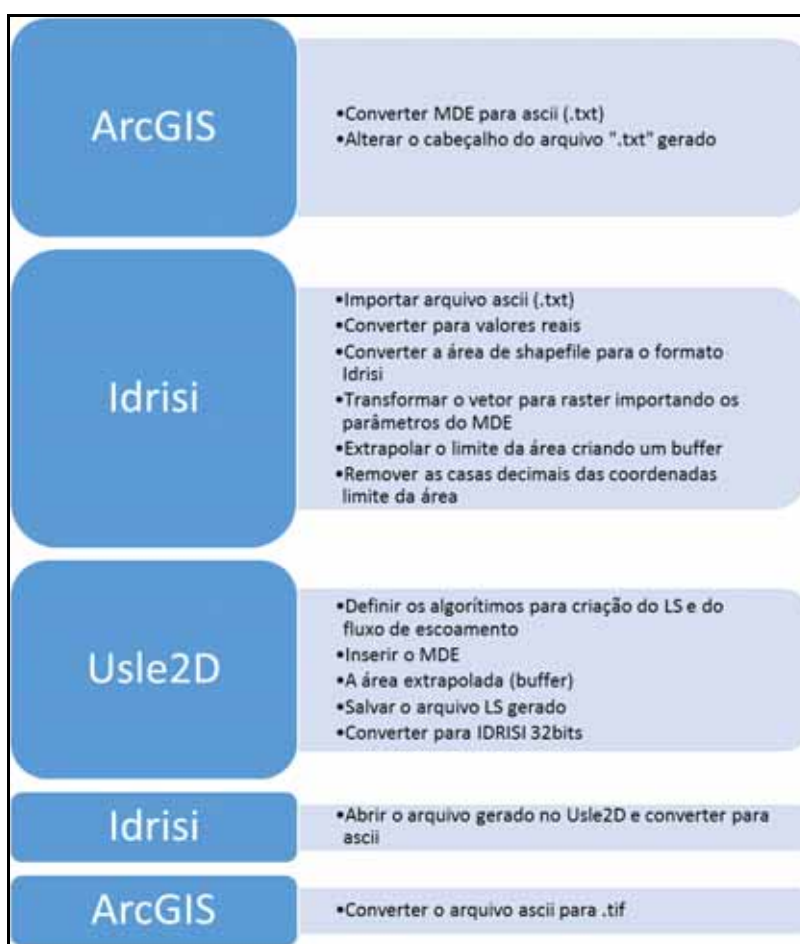


Figura 4. Procedimento de cálculo do fator LS com Usle2D.

O MDE foi obtido através de dados do sensor remoto ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometers), que possui pixel com resolução de 30 metros na qual se encontram os valores da altitude do terreno. O mapa

de declividade elaborado no mesmo software, a partir da extensão 3D Analyst, da ferramenta SLOPE.

O programa Usle2D foi utilizado para estimar o comprimento de rampa (L) a partir do MDT, por meio da equação (9) proposta por DESMET & GOVERS (1996):

$$L = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \times D^{m+2} \times 22,13^m} \quad (9)$$

Onde:  $A_{(i,j)}$  é a área de contribuição de um pixel com coordenadas (i,j) em  $m^2$ ; D é o tamanho do pixel em m; x representa o valor da direção do fluxo do escoamento; e o valor de m depende da declividade, o qual é estimado pelas equações 10 e 11:

$$m = \frac{\beta}{(\beta + 1)} \quad (10)$$

$$\beta = (\text{sen } \theta / 0,0896) / [3(\text{sen } \theta)^{0,8} + 0,56] \quad (11)$$

No Usle2D, o fator declividade (S) é calculado por meio dos algoritmos de WISCHMEIER & SMITH (1978), equação 12, de MCCOOL et al. (1987, 1989), de GOVERS (1991) ou de NEARING (1997). Para tanto, utilizou-se na determinação do fator LS o algoritmo de MCCOOL et al. (1987, 1989), equações 13 e 14, conforme recomendado por RENARD et al. (1997) para utilização na RUSLE.

Equação de WISCHMEIER & SMITH (1978):

$$S = 65,41 \text{ sen}^2 \theta + 4,56 \text{ sen } \theta + 0,065 \quad (12)$$

Onde:  $\theta$  é a inclinação do terreno em graus, além de que, especificamente, o m da equação do fator L (DESMET & GOVERS, 1996), será atribuído levando em consideração o valor do fator S, apresentados a seguir: quando  $S < 1\%$ ,  $m=0,2$ ; quando  $1\% \leq S \leq 3\%$ ,  $m=0,3$ ; quando  $3\% \leq S \leq 5\%$ ,  $m=0,4$ ; e quando  $S > 5\%$ ,  $m=0,5$ .

Equação de MCCOOL et al. (1987, 1989) para declives inferiores a 9%:

$$S = 10,8 \text{ sen } \theta + 0,03^\circ \quad (13)$$

E para declives superiores a 9%:

$$S=16,8\text{sen}\theta-0,5^\circ \quad (14)$$

Onde:  $\theta$  é a inclinação do terreno em graus. Neste algoritmo o  $m$  do fator  $L$  é determinado de acordo com as equações 10 e 11.

Entre as três opções que o programa proporciona para determinar a direção do fluxo do escoamento, o método *Steepest Descent*, o método *Multiple Flow* e o método *Flux Decomposition*, foi utilizado o algoritmo *Multiple flow direction* (direção do fluxo múltiplo).

Para a integração dos softwares, foi necessária a converter o MDT para o formato IDRISI (.rst), para que fosse possível a utilização dos dados no Usle2D. Além de criar um raster com o limite da área com valor 1 e com mesma dimensão do arquivo do MDT, após isso, o arquivo foi convertido para o formato ArcGIS.

#### 3.7.4. Potencial natural de erosão (PNE)

O potencial natural de erosão (PNE) é expresso em  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  é determinado utilizando os fatores naturais da RUSLE, ou seja, intrínsecos ao ambiente, através da multiplicação dos fatores: erosividade (R), erodibilidade (K) e o fator topográfico (LS), como é observado na equação (15). A multiplicação dos fatores foi realizado através do Raster calculator do software ArcGIS 10.2, o qual se adotou as classes recomendadas por BERTONI & LOMBARDI NETO (2010): muito baixo ( $< 250 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), baixo ( $250 \text{ a } 500 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), moderado ( $500 \text{ a } 750 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), alto ( $750 \text{ a } 1000 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) e muito alto ( $>1000 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ).

$$\text{PNE} = \text{R} \cdot \text{K} \cdot \text{LS} \quad (15)$$

### 3.7.5. Mapeamento do uso do solo e uso e manejo (fator C)

O fator C que consiste no efeito de proteção da cobertura vegetal sob o solo, foi determinado com base no mapa de uso e ocupação do solo, elaborado através do programa, Idrisi versão Selva. Para tanto foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 8, composição RGB 543, de julho do ano de 2013. A escolha do período do ano se justifica devido à ocorrência do período de seca nos trópicos, de abril a outubro, possibilitando maior detalhamento na diferenciação das áreas florestadas.

Para a segmentação da imagem, utilizou-se a ferramenta *Segmentation*, que consiste na fragmentação da imagem em áreas homogêneas. Tal processo consiste em mesclar regiões adjacentes mais similares, segundo o nível de cinza do pixel, textura e contraste (WOODCOCK et al., 1994), conforme a utilizado por OLIVEIRA et al. (2013). Após a delimitação e classificação supervisionada dos polígonos de uso da área de estudo, definiu-se as seguintes classes de uso do solo e os valores correspondentes de C segundo a Tabela 2.

Tabela 2. Classes do fator cobertura vegetal

| Classes de uso do solo          | Valores do Fator C |
|---------------------------------|--------------------|
| Solo Exposto                    | 1,0 (3)            |
| Cultura Perene (cana-de-açúcar) | 0,05 (1)           |
| Pastagem/Vegetação Campestre    | 0,01 (1)           |
| Florestal                       | 0,00004 (1)        |
| Infra-estrutura                 | 0                  |
| Água                            | 0 (4)              |

Fonte: (1) BUENO (1994), (2) DONZELLI ET AL. (1992); (3) RIBEIRO (2000) e MATA et al. (2007)

Para a reclassificação das classes de uso do solo para a obtenção do mapa do fator C, utilizou-se os valores apresentados na Tabela 2.

### 3.7.6. Elaboração do mapa de práticas conservacionistas (fator P)

Para obter o fator prática conservacionista (P) foi utilizada a equação (16) definida por LAGROTTI (2000).

$$P = 0,69947 - 0,08991D + 0,01184D^2 - 0,000335D^3 \quad (16)$$

Onde:  $D$  é a declividade em porcentagem (%)

O cálculo do fator P foi realizada no software ArcGIS por meio do módulo *Spatial Analyst Tools, Map Algebra*, utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, empregando na Equação 16, a declividade (%) da área.

### 3.7.7. Elaboração do mapa de perda de solo da área de estudo (A)

De acordo com o esquema apresentado abaixo (Figura 5), a partir dos resultados dos fatores: Erosividade (R), Erodibilidade (K), Topográfico (LS), Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P), empregando o módulo *Spatial Analyst Tools, Map Algebra*, utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, foi possível calcular a perda de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) da área de nascentes do Córrego do Gambá, no município de Monte Alto/SP, resultando na elaboração do mapa final.

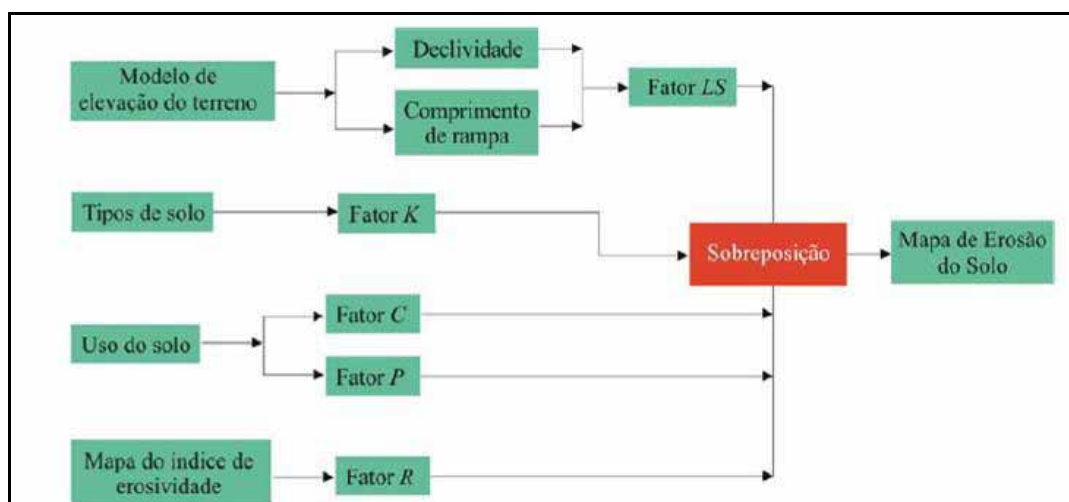


Figura 5. Fluxograma para obtenção das perdas de solo utilizando a RUSLE.  
Fonte: SILVA et al. (2007).

### 3.7.8 Simulação de perda de solo com APPs restauradas

A alteração do fator C (uso e manejo do solo) dentre os fatores da RUSLE, foi realizada para simular a perda de solo de acordo com um possível cenário de reflorestamento das Áreas de Preservação Permanentes (APPs). Para isso foi necessário gerar um arquivo *BUFFER* no software ArcGIS (10.2), seguindo o Novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº12.651/12), que estabelece uma largura mínima de 30 metros de APP para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura e 50 metros para nascentes, no caso da área de estudo, nesta área atribuiu-se o valor do fator C referente ao uso florestal e posterior cálculo da simulação da perda de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) utilizando a ferramenta *Raster Calculator*.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise geoestatística dos atributos do solo

De acordo com os resultados encontrados pela estatística descritiva das variáveis, a média e a mediana apresentaram valores próximos, indicando uma tendência à distribuição normal (TABELA 3). Os coeficientes de variação (CV) das variáveis alcançaram valores altos, tais como: areia muito grossa (AMG) e areia grossa (AG); valores médios para: areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), silte, argila e carbono orgânico (CO); e valor baixo para: areia total (AT).

A alta variação pode estar relacionada com a geomorfologia da área, caracterizada por um relevo escarpado, além da geologia, compostas por arenitos, resultando em diferenças nos processos de formação do solo ao longo da paisagem. Os valores do coeficiente de variação da argila foram bem maiores que o valor da areia total, concordando com MELLO et al. (2006), assim como os valores da argila e do silte, se comparado com areia total, como nos resultados obtido por SOUZA et al. (1997), o

qual afirma que essa maior variabilidade resulta do transporte seletivo da água, depositando-as de acordo com o microrrelevo. As variáveis com alto valor de CV apresentam grande amplitude nos valores de máximo e mínimo.

Tabela 3. Estatística Descritiva das variáveis estudadas

| Variável<br>(0-20 cm)      | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio<br>Padrão | Assimetria | Curtose | CV*   |
|----------------------------|-------|---------|--------|--------|------------------|------------|---------|-------|
| Areia Total <sup>(1)</sup> | 793,3 | 802,0   | 949,0  | 473,0  | 64,0             | -1,3       | 4,0     | 8,1   |
| AMG <sup>(1)</sup>         | 2,8   | 0       | 25,0   | 0      | 4,6              | 2,2        | 5,8     | 164,4 |
| AG <sup>(1)</sup>          | 65,2  | 57,0    | 220,0  | 0,5    | 39,5             | 0,9        | 0,6     | 60,5  |
| AM <sup>(1)</sup>          | 229,5 | 225,0   | 390,0  | 790,0  | 66,4             | 0,06       | -0,6    | 28,9  |
| AF <sup>(1)</sup>          | 356,0 | 359,0   | 563,0  | 119,0  | 60,6             | -0,5       | 1,2     | 17,0  |
| AMF <sup>(1)</sup>         | 139,7 | 136,0   | 498,0  | 25,0   | 52,9             | 1,7        | 9,2     | 37,9  |
| Silte <sup>(1)</sup>       | 108,1 | 106,0   | 269,5  | 25,5   | 35,2             | 0,8        | 2,4     | 32,6  |
| Argila <sup>(1)</sup>      | 98,5  | 91,5    | 260,5  | 25,5   | 39,9             | 1,4        | 2,7     | 40,5  |
| CO <sup>(2)</sup>          | 10,1  | 9,0     | 35,0   | 3,0    | 4,5              | 1,9        | 6,5     | 44,2  |

\* Coeficiente de Variação; <sup>(1)</sup> unidade em g/kg; <sup>(2)</sup> g/dm<sup>3</sup>.

Os resultados da análise geoestatística encontram-se na Tabela 4. Para análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos foi utilizada a relação  $C1/(C0+C1) \times 100$  e classificado segundo ZIMBACK (2001) como: forte dependência para GDE maior que 75%, moderada dependência entre 25% a 75% e baixa dependência para menor que 25%. A dependência espacial é dependente de fatores como: cultura, manejo, textura do solo, topografia, escala da amostragem, entre outros. Para tanto, os atributos que apresentaram forte dependência espacial foram: silte e argila; dependência moderada das variáveis: AT, AMG, AG, AM, AF, AMF e CO.

No ajuste dos semivariogramas predominou o modelo exponencial, o qual descreve fenômenos mais erráticos em pequena escala, ao contrário do modelo esférico, utilizado no ajuste das variáveis areia total e areia grossa. Os modelos ajustados concordam com MCBRATNEY & WEBSTER (1986), que descreveram que os modelos exponencial e esférico são os que melhores se ajustam aos atributos do solo. O alcance das variáveis foi de 195,0 a 1106,6 metros, sendo este, a distância em que os pontos de amostragem se correlacionam entre si, isto é, os pontos situados em uma

área com raio igual ao alcance são mais semelhantes entre si em comparação com os que estão fora da área (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1991). O atributo de maior alcance, areia grossa (AG), o qual também é constatado por CAMBARDELLA et al. (1994) e BURAK et al. (2012). O coeficiente de determinação corresponde à medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela reta de regressão, determinando a qualidade do ajuste do semivariograma, sendo quanto mais próximo da unidade estiver o valor de  $R^2$  melhor será o modelo ajustado, o que é observado na tabela 4.

Os parâmetros calculados (TABELA 4) por meio da validação cruzada reportam à acurácia dos modelos. A validação cruzada é um algoritmo de reutilização da amostra para a comparação quantitativa do desempenho experimental de métodos alternativos de interpolação, a qual utiliza a totalidade dos dados para estimar os modelos de tendência e autocorrelação, o qual é utilizado na ajuda de tomada de decisão e informando qual o método que fornece os melhores resultados. Para tanto, duas estatísticas de diagnóstico são consideradas neste trabalho, a partir dos resultados da média do erro após padronização (MS) e da raiz quadrada do erro quadrático padronizado (RMSS).

Os valores da média do erro após padronização (MS) devem ser próximo de zero, isso ocorre pelo fato da krigagem ser um método não tendencioso. Conforme os valores observados na Tabela 4, para todas as variáveis o MS são próximos de zero. Todos os valores da raiz quadrada do erro quadrático padronizado estão próximos de um (1), o que é considerado ideal. Portanto, de acordo com a validação cruzada, os modelos foram avaliados e ajustados com acurácia.

A área de estudo tem como característica um relevo escarpado com uma grande amplitude na altitude, que varia de 622 a 736 metros. Observou-se que há uma relação entre locais de maior concentração de areia grossa e areia média (Figura 6c e 6d) em áreas cultivadas e próximas à área urbana, assim como em área com maiores altitudes e menores declividades, como observado no mapa de declividade (Figura 12).



A distribuição de areia fina (Figura 7a) e areia muito fina (Figura 7b) mostra que há um acúmulo em áreas de menor altitude onde se tem a concentração de água, o que evidencia o transporte seletivo das menores partículas e sua sedimentação.

A areia total está concentrada em áreas de maior altitude, próxima à área urbana, sendo área sob pastagem, assim como áreas sob cultura anual, com manejo mais intenso, além da área de deposição próxima ao leito do córrego, conforme é observado na Figura 7a.

As áreas com maior quantidade de argila (Figura 7d) estão localizadas em locais de pouca declividade ou próximas à base das escarpas. As maiores concentrações do atributo silte (Figura 7c) estão localizadas em áreas com maior declividade, no terço médio e baixo das vertentes. Nas áreas próximas à escarpa onde apresenta predomínio de uma vegetação mais densa, maior quantidade de argila e silte e maior concentração do carbono orgânico (CO), Figura 8.

Tabela 4. Modelos, parâmetros dos semivariogramas e estatística dos erros da validação cruzada das variáveis estudadas

| <b>Variável<br/>(0-20 cm)</b> | <b>Mod.</b> | <b>Co</b> | <b>Co+C1</b> | <b>A (m)</b> | <b>GDE</b> | <b>SQR</b> | <b>R2</b> | <b>MS</b> | <b>RMSS</b> |          |
|-------------------------------|-------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| AT (1)                        | Isotrópico  | Esf.      | 1331,0       | 3458,0       | 246,0      | 61,5       | 178507,0  | 0,895     | -0.0013     | 0.981467 |
| AMG (1)                       | Isotrópico  | Exp.      | 0,14         | 0,54         | 228,0      | 54,0       | 0,0069    | 0,912     | -0.0079     | 1.05358  |
| AG (1)                        | Isotrópico  | Esf.      | 725,0        | 1545,0       | 1106,6     | 53,1       | 93283,0   | 0,915     | -0.0006     | 0.94754  |
| AM (1)                        | Isotrópico  | Exp.      | 1839,79      | 4330,37      | 888,72     | 57,5       | 160133,0  | 0,948     | -0.0061     | 1.006498 |
| AF (1)                        | Isotrópico  | Exp.      | 806,14       | 2798,0       | 195,0      | 71,2       | 154781,0  | 0,89      | 0.0114      | 1.001789 |
| AMF (1)                       | Isotrópico  | Exp.      | 13355,0      | 43109,0      | 289,54     | 69,0       | 0,383     | 0,905     | 0.0073      | 1.077384 |
| Silte (1)                     | Isotrópico  | Exp.      | 0,6794       | 28223,0      | 351,12     | 75,9       | 0,206     | 0,962     | 0.0141      | 1.031387 |
| Argila (1)                    | Isotrópico  | Exp.      | 0,001        | 3161,0       | 228,0      | 100,0      | 0,901     | 0,870     | -0.0328     | 1.109179 |
| CO (2)                        | Isotrópico  | Exp.      | 5,59         | 12,14        | 855,0      | 54,0       | 2,41      | 0,912     | 0.0078      | 1.014514 |

Mod.: Modelo; Esf.= Esférico; Exp.= Exponencial; Co = efeito pepita; Co+C1 = patamar; A = alcance; GDE = Grau de dependência espacial em %; SQR = Soma de Quadrados dos Resíduos; R2 = coeficiente de determinação; <sup>(1)</sup> unidade em g/kg; <sup>(2)</sup> g/dm<sup>3</sup>; MS: média do erro após padronização; RMSS: raiz quadrada do erro quadrático padronizado

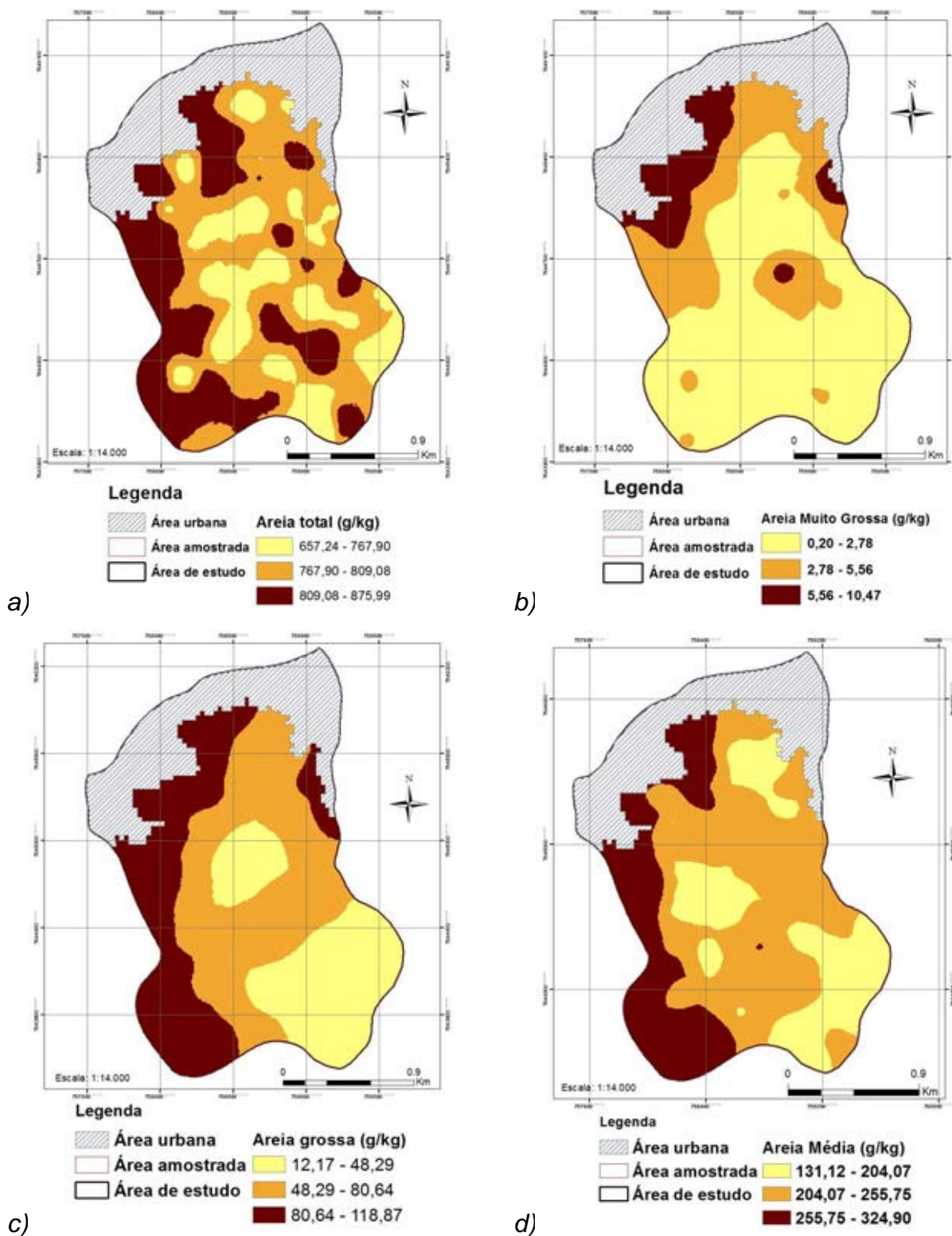


Figura 6. Mapas dos teores de (a) Areia total; (b) Areia muito grossa (c) Areia grossa; e (d) Areia média do solo.

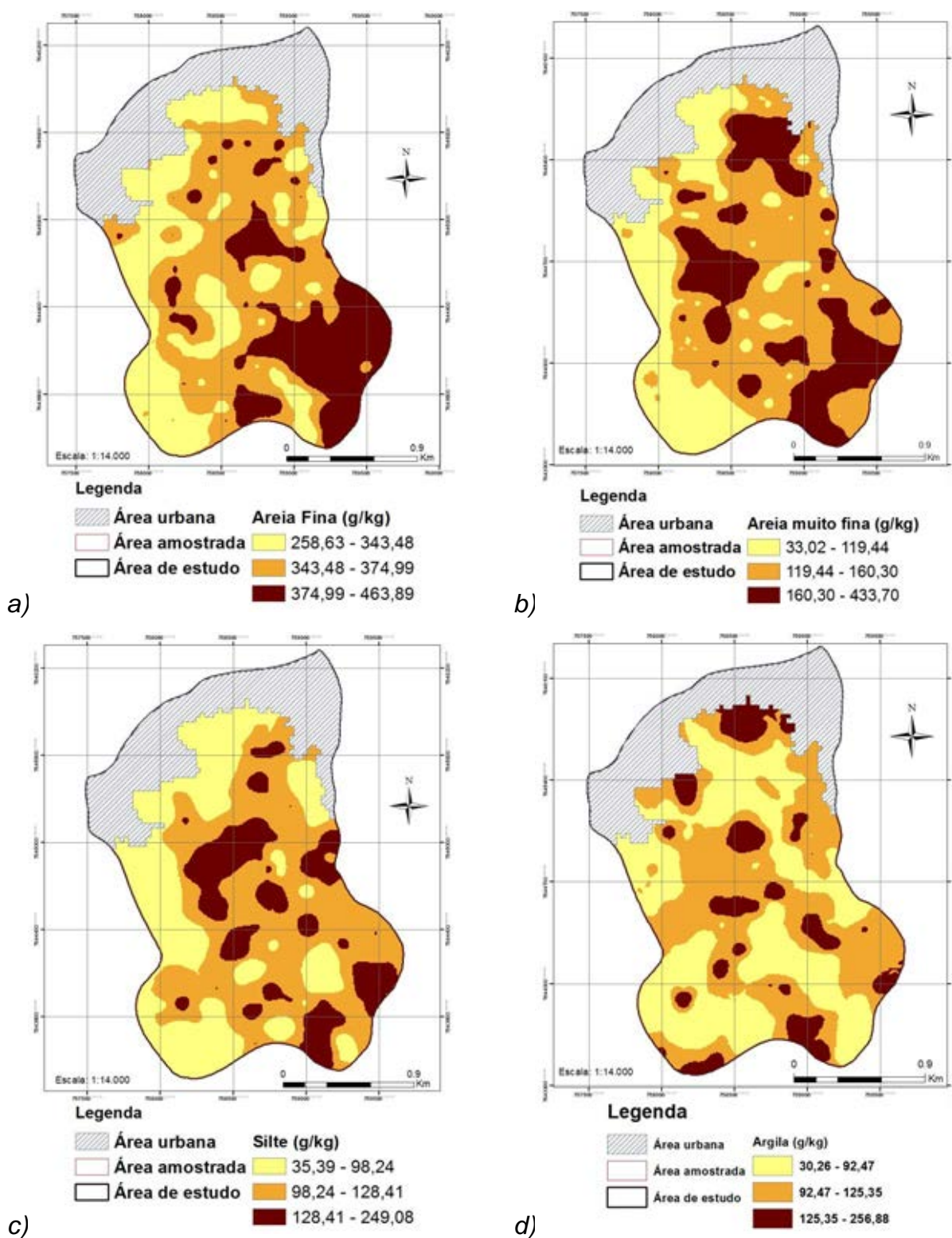


Figura 7. Mapas dos teores de (a) Areia fina; (b) Areia muito fina; (c) Silte; e (d) Argila do solo.

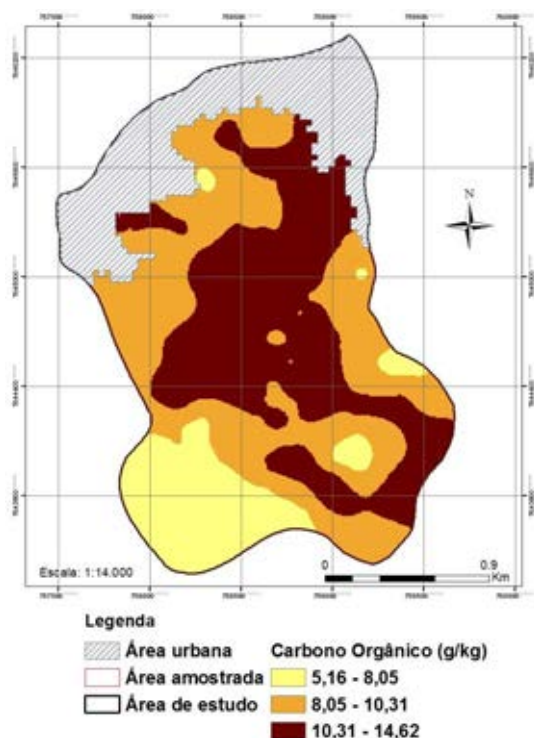


Figura 8. Mapa do teor de Carbono Orgânico do solo.

## 4.2. Fator K e Fator R

A erodibilidade do solo (fator K) média foi de  $0,0300 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , classificada como alta de acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (2010). MIQUELONI & BUENO (2011) determinou  $0,036 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$  para outra área do mesmo município. No município de Monte Alto há um predomínio de Argissolos de acordo com OLIVEIRA et al. (1999), o que influencia a erodibilidade e a determinação da perda de solo em áreas de solos com acúmulo de argila no horizonte subsuperficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

Os resultados da análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos (Tabela 5) foram classificados segundo ZIMBACK (2001), como alta para a erodibilidade do solo e para a erosividade da chuva. O ajuste do semivariograma da erodibilidade do solo está próximo dos dados apresentados por LUCA JUNIOR & MARTINS FILHO (2009), com patamar bem definido.

De acordo com BRANCO et al. (2013), CAMPOS et al. (2009) e SIQUEIRA et al. (2010) um dos modelos matemáticos que mais se ajustam às propriedades do solo é o modelo exponencial. No ajuste dos semivariogramas utilizou-se o modelo exponencial, o qual descreve fenômenos mais erráticos em pequena escala (MCBRATNEY & WEBSTER, 1986). Para a erosividade, o semivariograma ajustado foi anisotrópico (30°), influenciado no sentido do relevo e isotrópico para a erodibilidade. Os valores do alcance dos semivariogramas mostraram maior dependência espacial da erodibilidade se comparado com a erosividade.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) corresponde à medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela reta de regressão, determinando a qualidade do ajuste do semivariograma, quanto mais próximo de um (1) estiver, melhor o ajuste do modelo, comprovando que o ajuste foi eficaz para as duas variáveis.

Tabela 5. Modelos, parâmetros dos semivariogramas e estatística dos erros da validação cruzada das variáveis estudadas

| Variável<br>(0-20 cm) | Mod.               | Co   | Co+C1    | A (m)    | GDE    | SQR  | $R^2$    | MS   | RMSS  |      |
|-----------------------|--------------------|------|----------|----------|--------|------|----------|------|-------|------|
| Erodibilidade (1)     | Isotrópico         | Exp. | 0,000012 | 0,000047 | 239,00 | 75,0 | 5,46E-11 | 0,93 | 0,02  | 0,99 |
| Erosividade (2)       | Anisotrópico (30°) | Exp. | 0,1      | 15,95    | 351,79 | 99,4 | 28429    | 0,71 | -0,01 | 1,10 |

Mod.: Modelo; Esf.= Esférico; Exp.= Exponencial; Co = efeito pepita; Co+C1 = patamar; A = alcance; GDE = Grau de dependência espacial em %; SQR = Soma de Quadrados dos Resíduos;  $R^2$  = coeficiente de determinação; <sup>(1)</sup> unidade em  $Mg.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ ; <sup>(2)</sup>  $Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ ; MS: média do erro após padronização; RMSS: raiz quadrada do erro quadrático padronizado

Os parâmetros calculados (TABELA 5) por meio da validação cruzada reportam à acurácia dos modelos. A validação cruzada é um algoritmo de reutilização da amostra para a comparação quantitativa do desempenho experimental de métodos alternativos de interpolação, a qual utiliza a totalidade dos dados para estimar os modelos de tendência e autocorrelação, o qual é utilizado na ajuda de tomada de decisão e informando qual o método que fornece os melhores resultados. Para tanto, duas estatísticas de diagnóstico são consideradas neste trabalho, a partir dos resultados da média do erro após padronização (MS) e da raiz quadrada do erro quadrático padronizado (RMSS). Os valores da média do erro após padronização (MS) devem ser

próximos de zero, isso ocorre pelo fato da krigagem ser um método não tendencioso, o que ocorre para todas as variáveis. Os valores da raiz quadrada do erro quadrático padronizado são considerados ideais quando próximos de um (1), confirmando que os modelos foram avaliados e ajustados com acurácia.

Para a erodibilidade (Figura 9) os valores estimados foram classificados como baixo, moderado, alto (Tabela 6) de acordo com BERTONI e LOMBARDI NETO (2010). Apenas 3,1% área foi classificada como de baixa erodibilidade e estão situadas na parte mais elevada, onde se tem o uso agrícola, as áreas classificadas como moderada (39,3%), estão localizadas também nas áreas de maiores altitudes e em locais próximos ao córrego, enquanto que a maior parte da área (57,7%), próximas às escarpas e ao córrego, apresenta alta erodibilidade. A erodibilidade está diretamente relacionada com a variabilidade das propriedades do solo que variam ao longo da paisagem (SOUZA et al., 2003). Para CAMBARDELLA et al. (1994); BRANCO et al (2013), o mapa de krigagem da erodibilidade do solo fornecem informações dos locais que possuem maior risco de erosão além de permitir o estabelecimento de zonas de manejo.

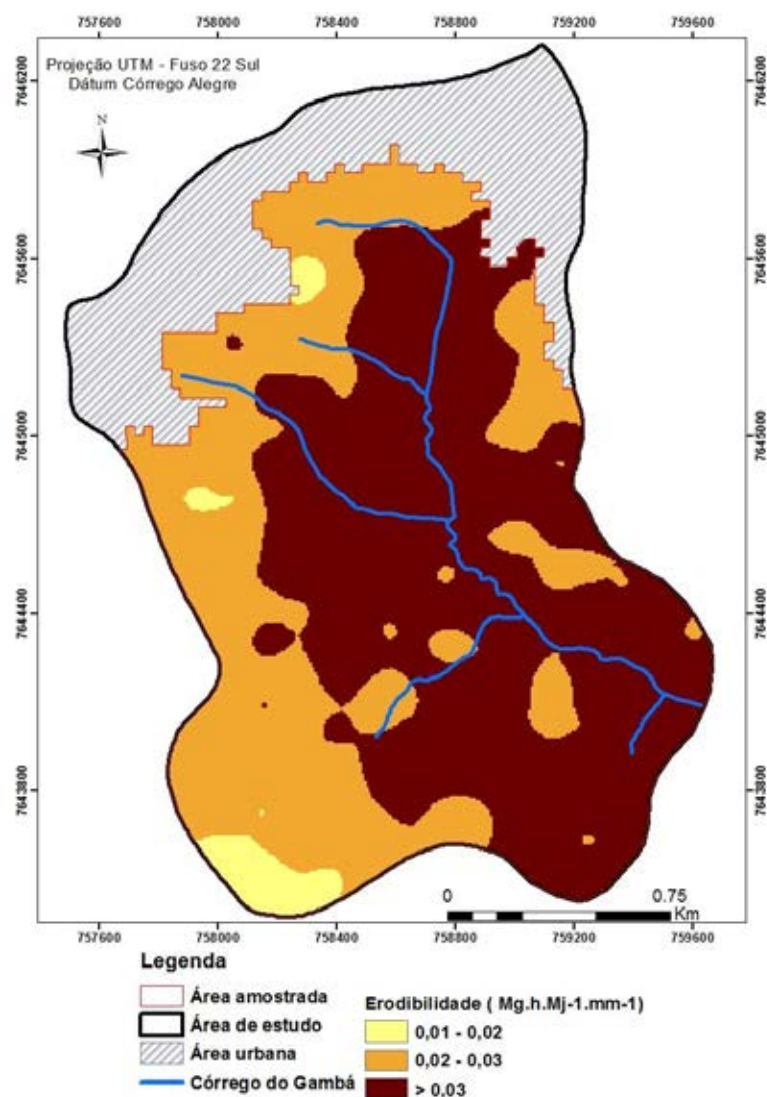


Figura 9. Mapa da erodibilidade do solo (Fator K).

Tabela 6. Áreas correspondentes às classes da erodibilidade do solo, segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2010)

| Classificação | Classe definida                         | Área  |      |
|---------------|---|-------|------|
|               | Mg.h.Mj <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> | ha    | %    |
| Baixo         | 0,010 a 0,02                            | 10,1  | 3,1  |
| Moderado      | 0,020 a 0,030                           | 129,6 | 39,3 |
| Alto          | > 0,030                                 | 190,4 | 57,7 |

A erosividade é um fator que corresponde a potencial capacidade da chuva em erodir o solo. A distribuição espacial do fator R para as áreas de nascentes do Córrego do Gambá é observada na Figura 10, onde se constatou uma distribuição uniforme, ou seja, baixas variações, porém com influência da altitude da área, devido à anisotropia encontrada no ajuste do semivariograma. Os valores da erosividade para o estado de São Paulo de acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (2010), variam de 5750 a 8000  $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , sendo compatíveis com os valores da área de estudo, pois estão neste intervalo apresentado (Tabela 7).

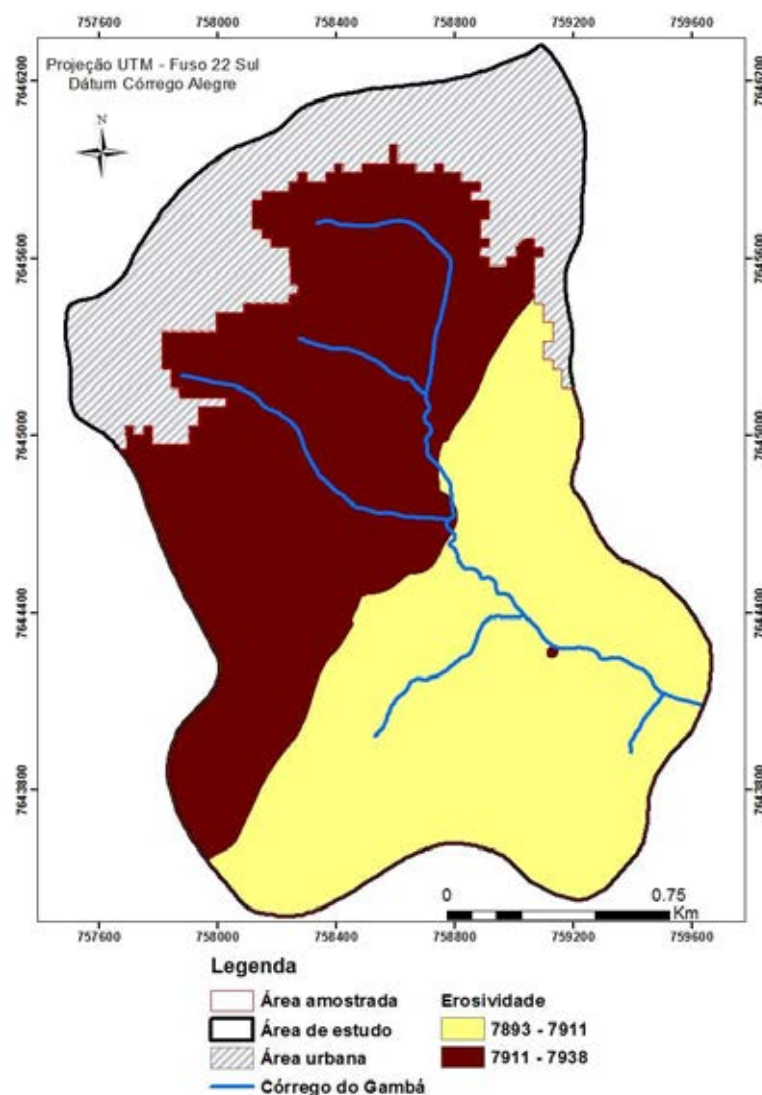


Figura 10. Mapa da erosividade da chuva (Fator R).



Tabela 7. Áreas correspondentes à cada classe de erosividade da chuva

| Classes     | Área                                    |      |   |
|-------------|---|------|---|
|             | MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> | ha   | % |
| 7893 - 7911 | 166,7                                   | 50,5 |   |
| 7911 - 7938 | 163,4                                   | 49,5 |   |

### 4.3. Fator LS

Na estimativa do potencial erosivo do solo, o fator topográfico, que caracteriza o relevo, pela declividade e comprimento de rampa, tem grande interferência potencializadora da energia cinética do escoamento superficial das águas resultando em maior quantidade de perda de solo, quanto maior for o fluxo.

Para as classes de declividade (Tabela 8), definidas segundo LEPSCH et al. (1991), observadas no mapa (Figura 11) mostram que há um predomínio de áreas com declividades entre 12 a 20%, seguidas de áreas com declividades entre 6 a 12% e por áreas com 20 a 40% de declividade, caracterizadas por um relevo escarpado, o que aumenta a velocidade do escoamento superficial, favorecendo a erosão hídrica em mais de 85% da área. As menores declividades são localizadas nas maiores e menores altitudes da área.

Tabela 8. Classes de declividade da área de estudo

| Classe de declividade | Área  |      |   |
|-----------------------|-------|------|---|
|                       | %     | ha   | % |
| 0 - 3                 | 15,9  | 4,8  |   |
| 0 - 6                 | 33,5  | 10,1 |   |
| 6 - 12                | 103,9 | 31,5 |   |
| 12 - 20               | 106,8 | 32,4 |   |
| 20 - 40               | 64,1  | 19,4 |   |
| > 40                  | 5,9   | 1,8  |   |

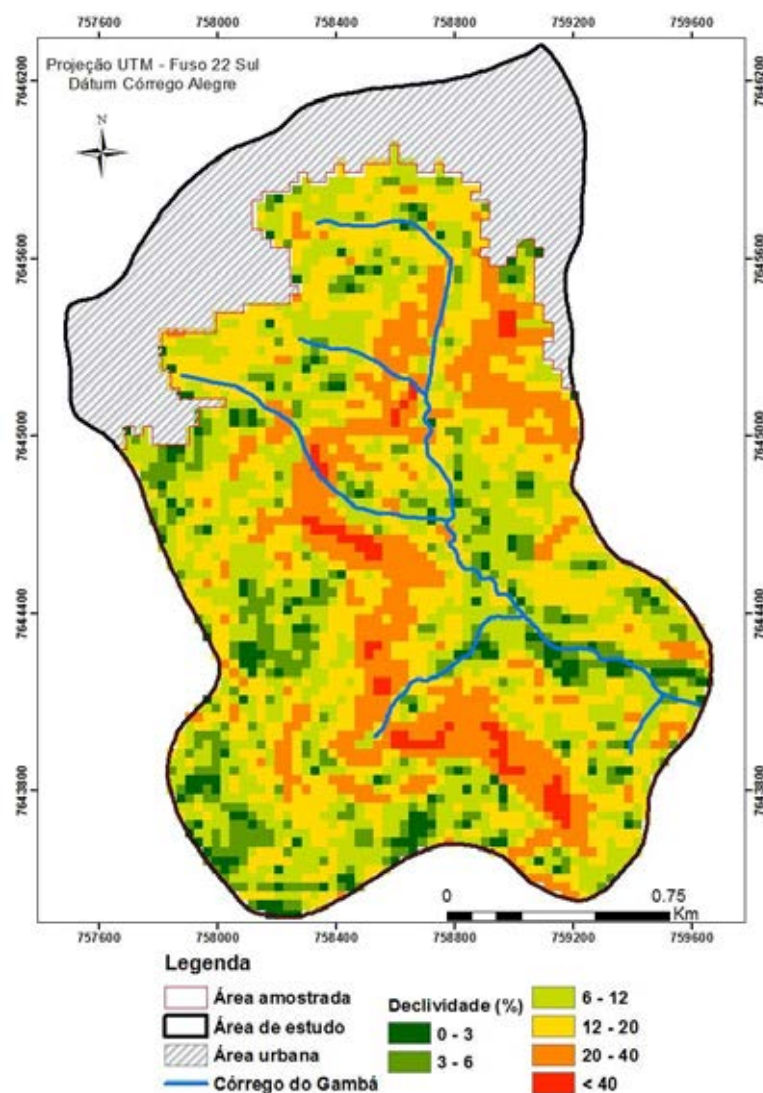


Figura 11. Mapa de declividade da área de estudo.

Além da declividade, o fator topográfico é composto pelo fator comprimento de rampa (L), referente ao comprimento da vertente, importante agente na influência do escoamento das águas superficiais para das cotas mais altas (divisor de água) para as mais baixas de uma microbacia.

A pressão da população nos recursos naturais o intenso uso do solo, entre outros fatores, elevou o aumento de cultivo em áreas de preservação, e também em terrenos com declive superior a 20% (PRESBITERO et al., 2005). Nas áreas urbanas, a

apropriação de terrenos inclinados por parte da população, para moradias, classificadas como áreas de risco, devido à susceptibilidade do terreno a movimentos de massa, estão geralmente associados a períodos chuvosos (COELHO-NETTO et al., 2010). Na estimativa do potencial erosivo do solo, o fator topográfico, que caracteriza o relevo quanto à declividade e comprimento de rampa, interfere como potencializador da energia cinética do escoamento superficial das águas resultando em maior quantidade de perda de solo conforme aumenta o fluxo. O fator topográfico é que determinará a velocidade do escoamento superficial, caracterizando o potencial da erosão em transportar diferentes quantidades e tamanhos de materiais (TOMAZONI & GUIMARAES, 2007; FROTA, 2012).

Apresentado na Tabela 9 e Figura 12, o fator topográfico possui grande variação na área de estudo de acordo com a classificação definida por BERTONI & LOMBARDI NETO (2010), com uma predominância de valores de 1 a 5, seguidas de menores que 1.

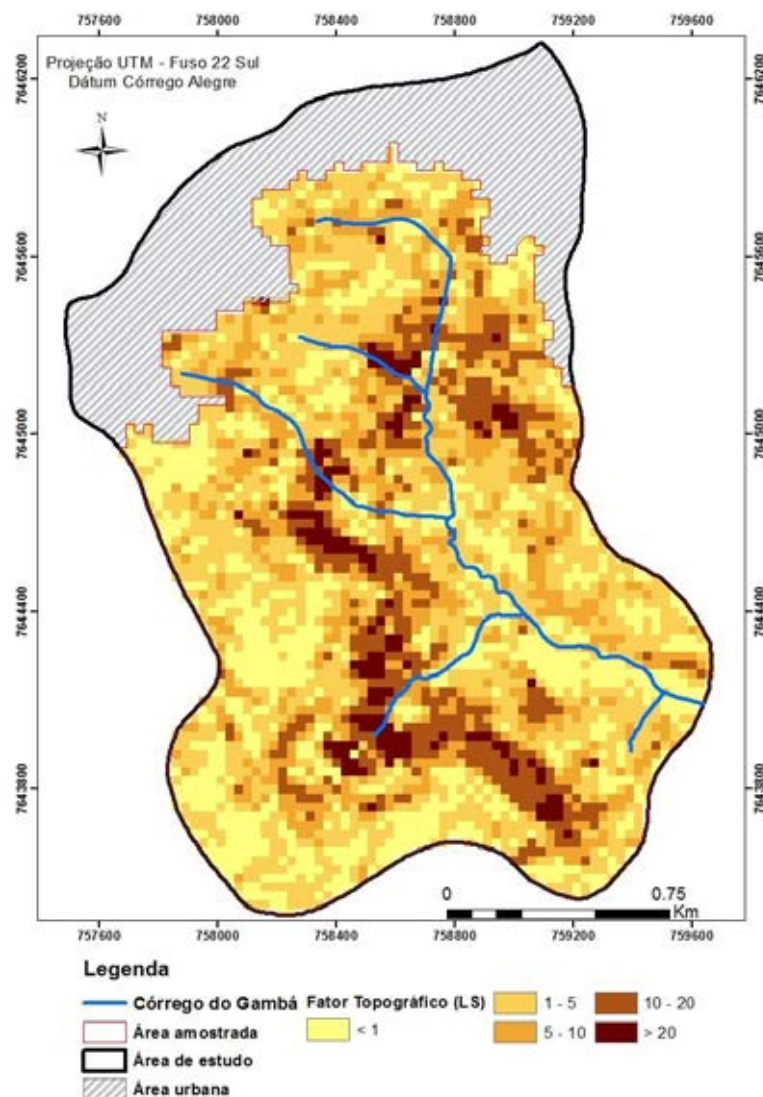


Figura 12. Mapa do fator topográfico (Fator LS).

Tabela 9. Classes de ocorrência do fator topográfico (LS) definidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (2010)

| Classificação | Classe definida | Área  |      |
|---------------|-----------------|-------|------|
|               |                 | ha    | %    |
| Muito baixo   | < 1             | 82,6  | 25,0 |
| Baixo         | 1 - 5           | 126,5 | 38,3 |
| Moderado      | 5 - 10          | 64,0  | 19,4 |
| Alto          | 10 - 20         | 43,4  | 13,2 |
| Muito alto    | > 20            | 13,5  | 4,1  |

A classificação do fator LS como muito baixo e baixo, indicam que a área tem maior propensão à erosão laminar, devido ao maior comprimento das rampas e, portanto, maior velocidade de escoamento (SILVA, 2009). No entanto, observa-se que há um predomínio da erosão laminar nas áreas de nascentes do córrego do Gambá, assim como observou FROTA (2012) na Bacia do Açude Orós, isto é resultado do predomínio de valores do fator topográfico abaixo de 5 para as duas áreas.

A área apresenta um relevo predominantemente ondulado e suave ondulado, com feições geomórficas escarpadas, justamente onde se localizam os maiores valores do fator LS e da erodibilidade, importante na contribuição do desenvolvimento de processos erosivos. Os menores valores se encontram nas cotas de maiores altitudes da área e próximos ao corpo hídrico, caracterizadas por FROTA (2012) como áreas que representam os setores de infiltração das águas pluviais, com os menores valores das classes de ocorrência de LS, como se observa na Figura 12, além das áreas com vertentes com elevadas declividades apresentaram os maiores valores. Os valores intermediários se localizam nas áreas à montante e à jusante da área escarpada, também exercendo contribuição na dinâmica do escoamento superficial das águas pluviais e sua velocidade, com relação direta com o fator topográfico, que dependendo do aumento de sua intensidade aumenta proporcionalmente o potencial erosivo. O valor máximo estimado para o fator LS é de 64, classificado como muito alto (Tabela 9), localizados em área com declividade maior que 20%.

#### 4.4. Potencial natural de erosão (PNE)

Os fatores naturais - erosividade das chuvas, erodibilidade do solo e o fator topográfico - influenciam a ocorrência de erosão, os quais representam a perda de solo, chamada de potencial natural de erosão (PNE). Como foi observado nos mapas das variáveis erosividade e erodibilidade apresentaram uma distribuição espacial quase constante, ao contrário do mapa do fator topográfico, o qual mais influenciou o potencial natural de erosão da área de nascentes do Córrego do Gambá.

O Brasil apresenta resultados do PNE distintos, possivelmente devido à influências do relevo, a qual a classe predominante é maior que  $200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , classificado como baixo potencial à erosão, e a segunda classe é maior que  $1.600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Além de solos altamente erodíveis, alta erosividade e grande influência do fator topográfico, com notáveis influências, destacam-se a necessidade do estabelecimento de políticas de uso da terra, visando seu uso sustentável, tanto em área rural como urbana (SILVA et al., 2011). As classes de ocorrência do PNE definidas por BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) e suas áreas correspondentes, mostram que 47,3% da área estudada são relativas à classe muito alta do potencial natural de erosão, 19,9% do total da área se distribuem na classe alta e moderada e 32,8% da área correspondem às classes baixa e muito baixa (Tabela 10).

Tabela 10. Classes de ocorrência do potencial natural de erosão (PNE)

| Classificação | Classe definida                     | Área  |      |
|---------------|-------------------------------------|-------|------|
|               | $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ | ha    | %    |
| Muito baixo   | < 250                               | 67.7  | 20.5 |
| Baixo         | 250 - 500                           | 40.6  | 12.3 |
| Moderado      | 500 - 750                           | 33.8  | 10.2 |
| Alto          | 750 - 1000                          | 31.9  | 9.7  |
| Muito alto    | > 1000                              | 156.1 | 47.3 |

Alguns estudos aplicados em bacias hidrográficas mostram que áreas com valores do PNE mais elevados, caracterizadas como áreas críticas são responsáveis por uma quantidade desproporcional e mais elevada de sedimentos que são transportadas e depositadas na rede de drenagem (TRIPATHI et al., 2003; BEWKET & TEFERI, 2009). Como se observa na Figura 13, as áreas classificadas com PNE muito alta, estão localizadas ao longo da escarpa, onde se tem a declividade mais acentuada e conseqüentemente os maiores valores do fator topográfico, portanto, é imprescindível o planejamento do uso do solo da área, principalmente para a adoção de práticas conservacionistas, assim como na adoção destas por parte de órgãos públicos para o planejamento urbano, principalmente em limitar as áreas classificadas como alta e muito alta do potencial natural de erosão no plano diretor para a expansão urbana.

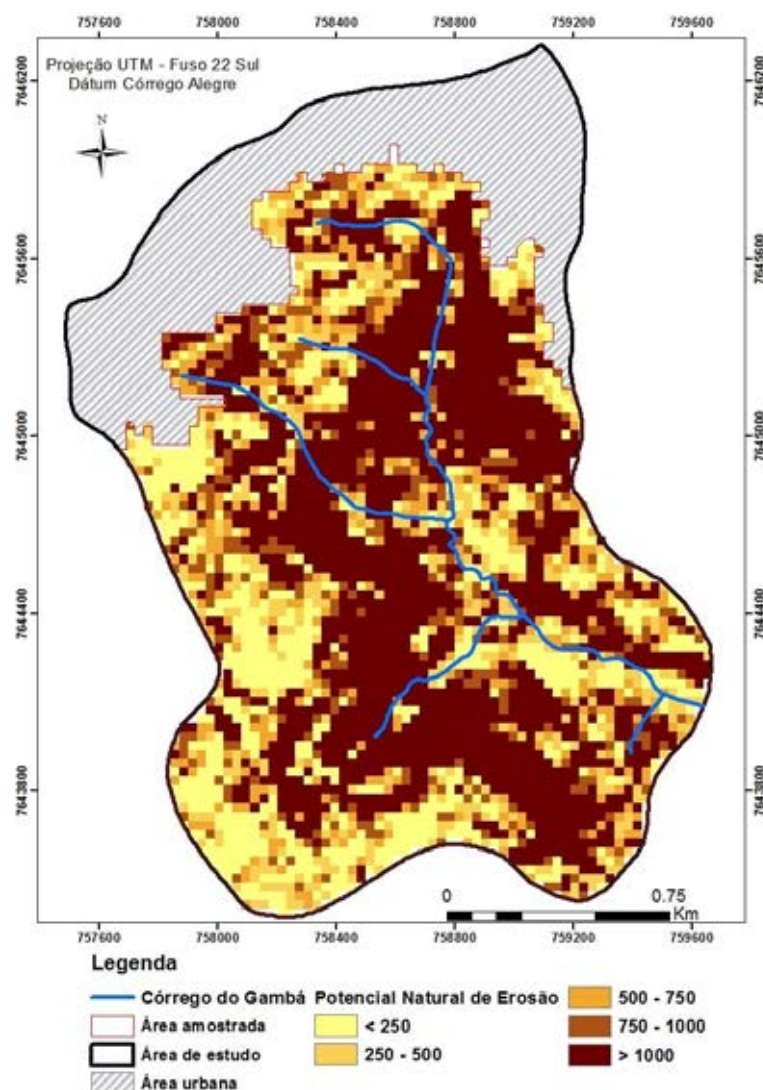


Figura 13. Mapa do potencial natural de erosão (PNE).

A Tabela 11 apresenta os resultados da análise de correlação e regressão linear entre o potencial natural de erosão (PNE) e os fatores que o determinam, a erodibilidade (K), erosividade (R) e o fator topográfico (LS), visando compreender a relação entre os fatores e seu produto. A variável que apresentou o menor coeficiente de correlação foi a erosividade, o qual obteve o coeficiente de determinação de 0,5%, o que deve estar associado à pouca variância do fator na área. O fator K foi responsável por 11,4% dos valores do PNE. Assim como ARRAES (2009) a maior correlação ocorre



com os valores do fator LS, apresentado na Tabela 3, com um r de 0,709, que corresponde a 52,2% do PNE, o que indica maior influência do relevo nos valores do PNE. Contudo, a ocorrência dos maiores valores de potencial natural de erosão estão nas áreas com maior declive, sendo assim, com o relevo mais acentuado, o que evidencia as correlações do PNE com o relevo e com solo, mostrando a importância em conhecer a erodibilidade (K) e o fator topográfico (LS) (FROTA, 2012).

Tabela 11. Coeficientes de correlação e determinação entre fatores naturais (K, R, LS) e o Potencial Natural de Erosão (PNE)

| Variável | Coeficiente de Correlação (r) | Equação                        | Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> ) % |
|----------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| K        | 0,339                         | $PNE = 12254,0 \cdot K - 2042$ | 11,4 %  |
| R        | -0,071                        | $PNE = -14,87 \cdot R + 11935$ | 0,5 %   |
| LS       | 0,709                         | $PNE = 85,0 \cdot LS + 373,8$  | 50,2 %  |

Eventos relacionados à problemática ambiental relacionados ao regime hidrológico, à características dos solos e às características do relevo, além de envolverem fatores físicos, também englobam fatores sócio-econômicos e políticos (FRANK, 2010). Em um estudo de caso, na área urbana de Uberlândia (MG), classificou-se a erosão como susceptibilidade moderada, entretanto, nas áreas próximas às nascentes da maioria dos córregos não canalizados os processos erosivos se encontram em estágio acelerado. No caso investigado, no Córrego Buritizinho, as áreas de expansão urbana alcançam sucessivamente áreas com declividades elevadas, caracterizadas por um relevo acidentado relacionados com à alta susceptibilidade à erosão (CARRIJO & BACCARO, 2000). Este caso caracteriza a atual situação da área de estudo no município de Monte Alto (SP).

A espacialização do PNE pode ser utilizada como ferramenta na tomada de decisões quanto ao uso do solo, por permitir a identificação de áreas com necessidade de monitoramento relacionados à problemas com a erosão (PEDRO & LORANDI, 2004). Por meio da estimativa do PNE utilizando a RUSLE, foi possível identificar as regiões com alta susceptibilidade à erosão, principalmente nas áreas com maiores declividades.

As informações geradas pela estimativa e espacialização do PNE, poderiam contribuir para o poder público quanto à restrição do uso e ocupação de áreas com alto potencial natural à erosão, evitando gastos com infraestruturas, ou mesmo com obras emergenciais como no caso da erosão ocorrida em 2011 (Figura 14), resultado da falta de planejamento urbano e de um projeto de drenagem urbana, tendo como resultado danos ambientais.



Figura 14. Processo erosivo ocorrido na área de estudo.

Diante desta situação, há uma necessidade de alertar e conscientizar as autoridades locais, devido às características do relevo escarpado da região, de solos com alta erodibilidade, da implementação de programas de combate, controle e prevenção à erosão, restringindo no plano diretor as áreas de expansão urbana, destinando-as para usos menos intensivos, com práticas adequadas para atender os requisitos para a conservação do solo e da água.

#### **4.5. Fator C**

A Figura 15 mostra o mapa do uso atual do solo e as áreas correspondentes de cada uso podem ser observadas na Tabela 12.

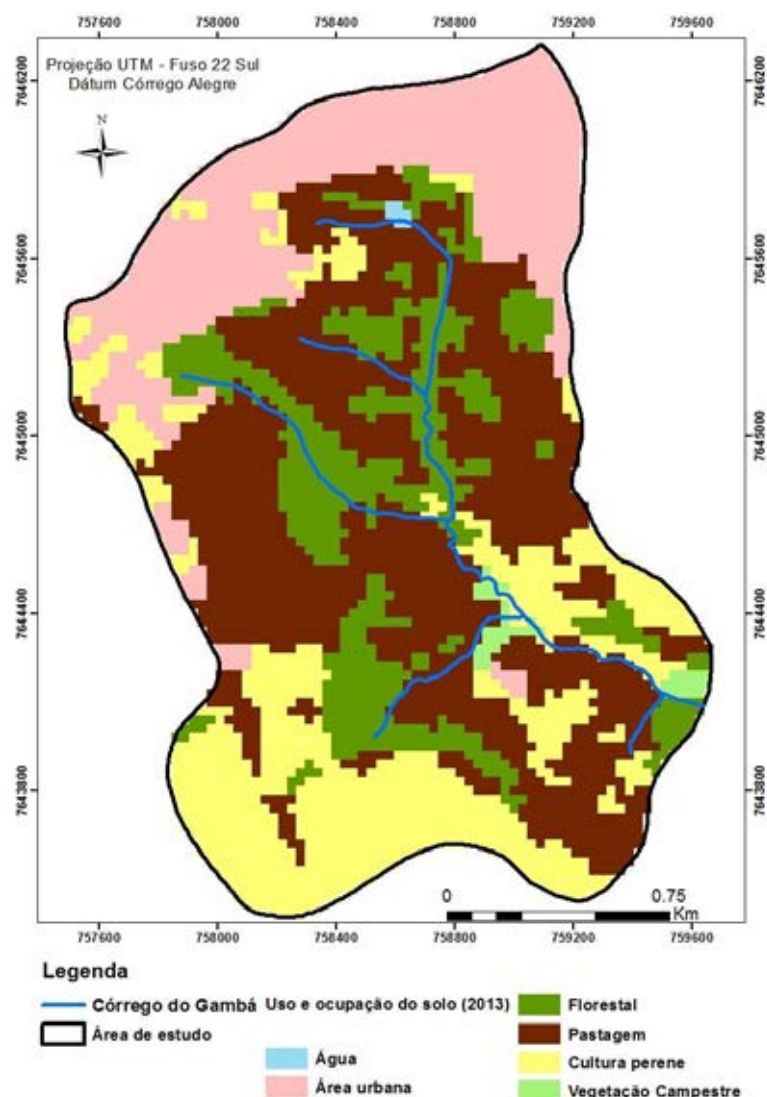


Figura 15. Mapa de uso do solo da área de estudo.

Foram observadas seis categorias principais: água, área urbana, florestal, pastagem, cultura perene e vegetação campestre. A pastagem, dentre todas as categorias, é o uso predominante, com 39,2% do total da área. Seguido do uso cultura perene, o qual corresponde a 22,8% da área, o qual está relacionado à cultura da cana-de-açúcar. A classe área urbana, caracterizada por construções da área urbana e rural, engloba a terceira maior área, o qual é tem forte influência antrópica, principalmente na impermeabilização do solo e na falta de planejamento da drenagem das águas pluviais,

não possuindo um controle da quantidade e da velocidade das águas. A classe florestal, corresponde à 16,4% da área, valor significativo para a região e está relacionada à manutenção da vegetação natural nas áreas de escarpa e de declividade acentuada, também ao longo do córrego. As classes água e vegetação campestre, juntos somam 1,1% do total da área. Com esse panorama é possível afirmar que a área é intensamente antropizada, caracterizado por constantes mobilizações do solo para fins econômicos, como exemplo a agricultura, pecuária e especulação imobiliária.

Tabela 12. Tipos de usos do solo

| Classe de uso       | Área  |      |
|---------------------|-------|------|
|                     | ha    | %    |
| Água                | 0,6   | 0,1  |
| Área Urbana         | 84,8  | 20,5 |
| Florestal           | 67,8  | 16,4 |
| Pastagem            | 162,4 | 39,2 |
| Cultura perene      | 94,3  | 22,8 |
| Vegetação campestre | 4,1   | 1,0  |

Na Figura 16, são observadas as classes do fator uso e manejo do solo e seus valores (adimensional) utilizados na estimativa de perda do solo da área.

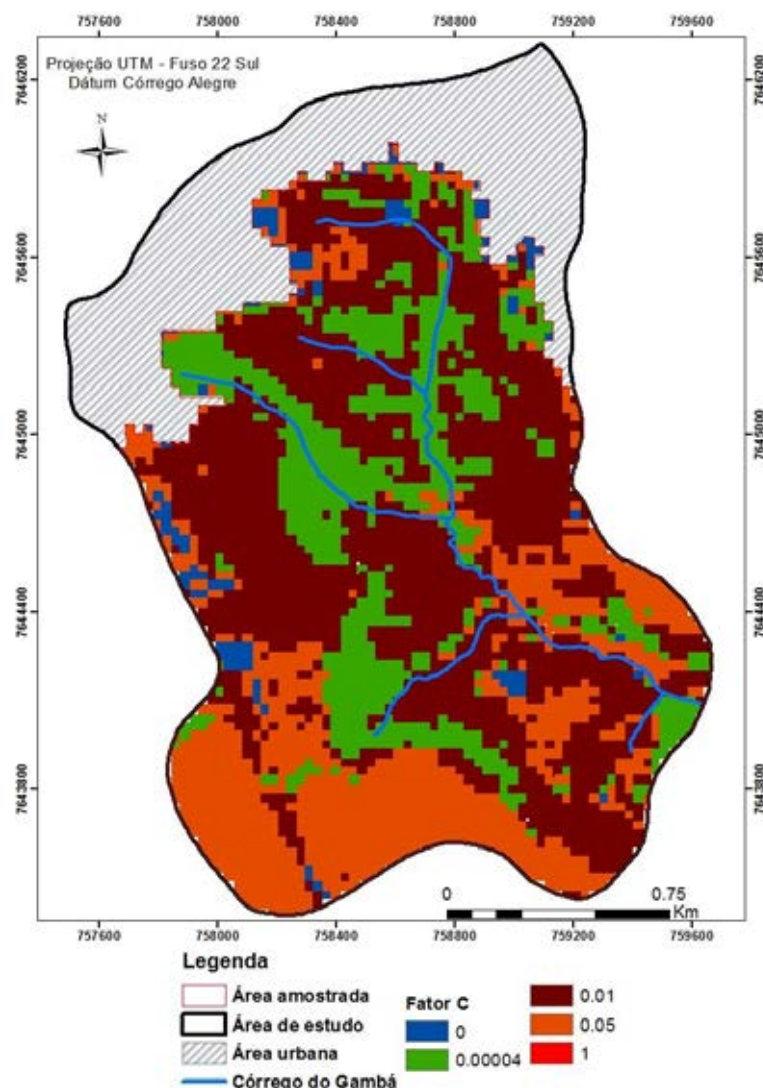


Figura 16. Mapa do Fator Uso do Solo (C) da área de estudo.

Na Tabela 13 são observadas as classes do fator C e suas respectivas áreas no perímetro da área amostrada. A classe de maior abrangência foi a de 0,01 (adimensional) com 48,5% da área que estão relacionados à pastagem. As áreas com uso de cultura anual, referente à cana-de-açúcar e às áreas de solo sob palhada, também referente ao cultivo desta cultura são representadas por 27,2% da área (89,7 ha). O uso denominado florestal é referente ao valor 0,00004 (adimensional) de C, representando 21,4% da área amostrada. O valor de C igual a zero (0) está

relacionados aos usos de infra-estrutura e água (represa) da área amostrada, representando 3% desta, por fim, o valor igual a 1 não foi identificado, referente à classe do solo exposto.

Tabela 13. Classes de ocorrência do fator uso do solo (C)

| Fator C<br>Adimensional | Área  |      |
|-------------------------|-------|------|
|                         | ha    | %    |
| 0                       | 9,8   | 3,0  |
| 0,00004                 | 70,6  | 21,4 |
| 0,01                    | 159,9 | 48,5 |
| 0,05                    | 89,7  | 27,2 |
| 1                       | 0     | 0,0  |

#### 4.6. Fator P

No mapa do fator práticas conservacionistas, apresentado na Figura 17 e nos dados da Tabela 14, observa-se que os maiores valores do fator P, 1 e 0,86 (adimensional) estão localizados nas áreas de maiores declividades e compreendem uma área de 33,5% e 24,1%, respectivamente.

Para a determinação deste fator foi utilizada a declividade do terreno (%) devido à direta relação entre esses dois fatores. Além disso, é necessária a adoção de práticas conservacionistas principalmente em áreas agrícolas para minimizar os processos erosivos.

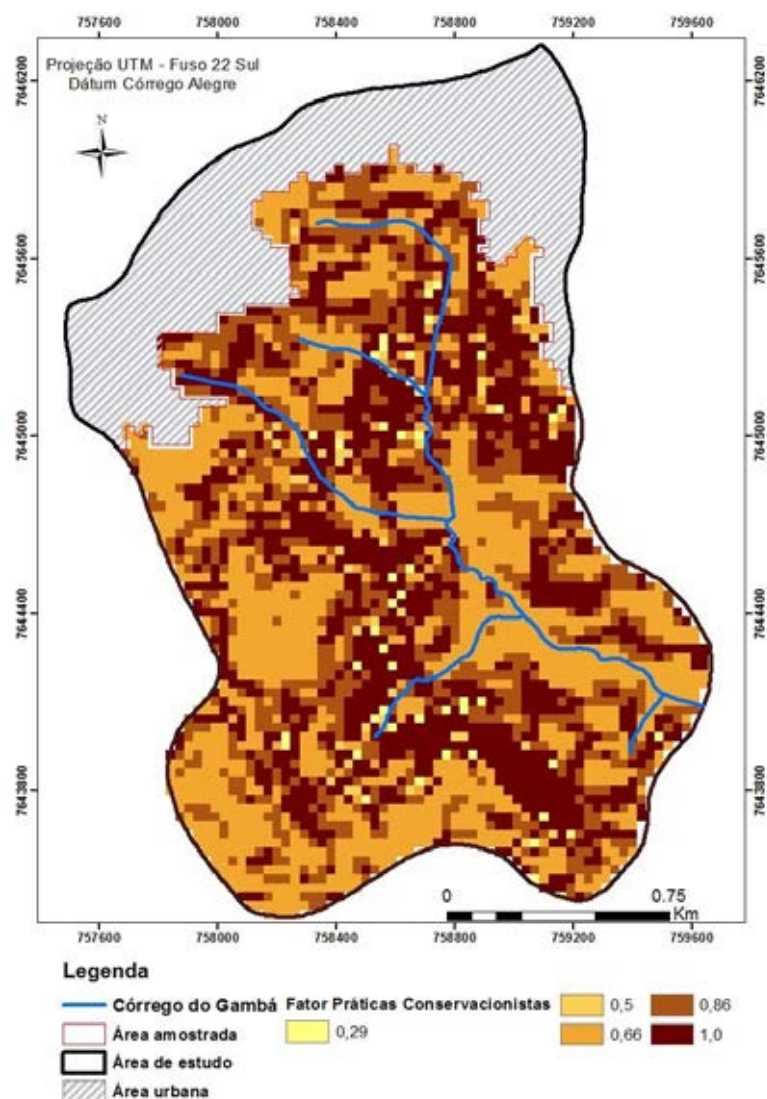


Figura 17. Mapa do Fator Práticas Conservacionistas (Fator P).

Tabela 14. Classes de ocorrência do Fator Práticas conservacionistas

| Fator P | Área  |      |
|---------|-------|------|
|         | ha    | %    |
| 0,29    | 6,0   | 1,8  |
| 0,5     | 7,0   | 2,1  |
| 0,66    | 126,7 | 38,4 |
| 0,86    | 79,7  | 24,1 |
| 1       | 110,7 | 33,5 |



As áreas destinadas à pastagem e à lavoura estão em áreas de solos caracterizados com alto grau de erodibilidade, em um terreno com elevada declividade, indicando que é necessária uma preocupação em relação às práticas conservacionistas adotadas com vistas à conservação do solo.

#### **4.7. Perda de solo da área de estudo (A)**

A aplicação da RUSLE utilizando SIGs viabilizou a estimativa e a espacialização dos fatores e da perda de solo relacionadas à erosão hídrica em condições de determinados usos e manejos da área em questão (WISHMEIER & SMITH, 1978).

No mapa da perda de solo (Figura 18) observa-se que há um predomínio de valores inferiores a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , classificada segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) como muito baixa, abrangendo 65,8% da área de acordo com a Tabela 15, isto pode estar relacionado ao tipo de uso e manejo do solo, uma vez que segundo BELLINAZZI JUNIOR et al. (1981) as perdas médias anuais de solo no Estado de São Paulo para as culturas da cana-de-açúcar, pastagem são de 12,4 e 0,4  $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. BESKOW et al. (2009) também observaram que a maior parte (53%) da Bacia do Rio Grande, apresenta baixa perda de solo com média anual menor de 5  $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

A classe de 20 a 50  $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  corresponde à segunda maior área, com 13,4 % seguida da classe de 10 a 20  $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com 12,5% de área, classificadas como moderada e baixa perda de solo, respectivamente. As classes que representam as maiores perdas de solo, classificadas como alta e muito alta, somam 8,3% da área, sendo o máximo valor de perda de solo de 405,7  $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Para tanto, é necessário medidas de intervenção para minimizar os processos de perda de solo, principalmente nas áreas classificadas como alta e muito alta (acima de  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), onde há intensos quadros de processos erosivos, resultando na degradação do solo.

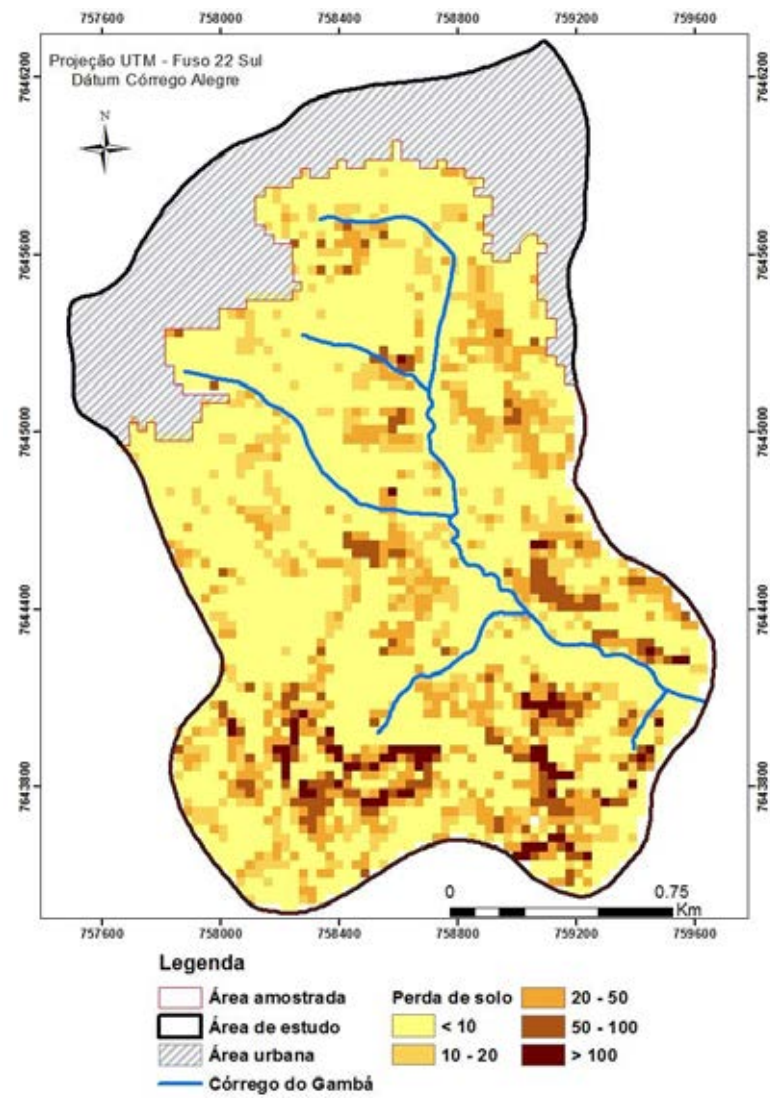


Figura 18. Mapa de perda de solo da área de estudo.

Tabela 15. Áreas correspondentes às classes de perda de solo, segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2010)

| Classificação | Classe definida                       | Área  |      |
|---------------|---------------------------------------|-------|------|
|               | t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> | ha    | %    |
| Muito baixo   | < 10                                  | 217,1 | 65,8 |
| Baixo         | 10 - 20                               | 41,3  | 12,5 |
| Moderado      | 20 - 50                               | 44,1  | 13,4 |
| Alto          | 50 - 100                              | 18,6  | 5,6  |
| Muito Alto    | > 100                                 | 9,0   | 2,7  |

A Tabela 16 apresenta os resultados da análise de correlação e regressão linear entre os fatores da RUSLE e a perda de solo.

Tabela 16. Coeficientes de correlação e determinação entre os fatores da RUSLE com a Perda de Solo

| Variável  | Coeficiente de Correlação (r) | EQUAÇÃO                | Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------------------------|------------------------|---|
| <b>K</b>  | 0,084                         | A = 571,65. K - 2,6849 | 0,72 %  |
| <b>R</b>  | 0,022                         | A = 0,0014. R + 3,0457 | 0,05 %  |
| <b>P</b>  | 0,256                         | A = 38,646. P - 13,774 | 6,57 %  |
| <b>C</b>  | 0,377                         | A = 0.006. C + 3.675   | 4,80 %  |
| <b>LS</b> | 0,383                         | A = 1.635. LS + 4.793  | 14,60 %                                       |

A regressão linear entre as variáveis da RUSLE e seu produto, a perda de solo (A), foi mensurada a partir dos coeficientes de correlação (r) e determinação (R<sup>2</sup>), comprovando que o fator que exerceu maior influência na perda de solo na área das nascentes do Córrego do Gambá foi o LS (fator topográfico), sendo que, 14,60 % da variância da perda de solo pode ser explicada pela variância do fator LS. Os fatores

práticas conservacionistas (P) e cobertura vegetal (C), com correlação de 0,377 e 0,256, explicam respectivamente 6,57% e 4,80% da perda de solo da área.

As demais variáveis da RUSLE exerceram menores influências na perda de solo, entre os menores valores do coeficiente de correlação (r) estão as variáveis K e R (erodibilidade e erosividade). DEMARCHI (2012) obteve valores mais elevados de correlação e determinação para os fatores K e R em relação aos apresentados na Tabela 16, porém, também apresentaram as menores correlações. O menor coeficiente de correlação encontrado foi do fator R, devido a pouca variância dos dados adotados para a área estudada. Para tanto, destaca-se a importância de modelos de predição de erosão como uma eficiente ferramenta na gestão de terras agrícolas, especialmente em países em desenvolvimento (OZCAN et al., 2008; BESKOW et al., 2009).

LOMBARDI NETO & BERTONI (1975b) determinaram a tolerância média de perda de solo para solos com horizonte B textural e com horizonte B latossólico foram de 4,5 a 13,4 t.ha-1.ano-1 e 9,6 a 15,0 t.ha-1.ano-1, respectivamente. No município de Monte Alto, o solo predominante pertence à classe dos Argissolos observando que a classe definida como muito baixa perda de solo (<10 t.ha-1.ano-1), representa 65,8% da área de estudo, está abaixo do limite máximo tolerável para esta classe de solo. Porém, esta estimativa está relacionado com o uso/ocupação do solo (pastagem e cana-de-açúcar) e as práticas conservacionistas (terraços) instalados atualmente (fatores C e P da RUSLE), que conferem a redução das taxas de erosão na maior parte da área, estando de acordo com BELLINAZZI JUNIOR et al. (1981) que encontrou uma baixa perda de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar e pastagem. A falta de planejamento e o crescimento urbano resultam em mudanças do uso do solo, o que colabora para um desequilíbrio no fluxo das águas pluviais, contribuindo para a formação de erosão e aumento da perda de solo.

Na área de estudo, assim como em outros locais no município de Monte Alto, a ocorrência de erosões hídricas é resultado da falta de planejamento e retrata de acordo com BAPTISTA et al. (1994), a real degradação do solo nas áreas de expansão urbanas brasileiras, função de fatores como a águas pluviais, a topografia, o manejo do solo e as práticas conservacionistas adotadas.

Há uma especulação imobiliária pela área de estudo, pois se localiza próxima a bairros valorizados. O crescimento desordenado da área urbana geram riscos para a própria população, como por exemplo, problemas estruturais em residências, de acordo com PEDRO & LORANDI (2004), em que destacam a ocupação desordenada de áreas periurbanas, como responsável pela desestabilização de encostas devido à ausência de técnicas adequadas, assim como a falta de um sistema de drenagem, que potencializa os problemas da erosão dos solos.

#### **4.8. Simulação da Perda de solo com área de APP reconstituída**

A criação de cenários na aplicação da RUSLE é facilitada quando se utilizam SIGs. Na simulação da perda de solo, modificou-se o arquivo raster do Fator C (uso e manejo), delimitando através da criação de um arquivo *BUFFER*, as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) de acordo com as características da área de estudo seguindo o Novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº12.651/12), onde estabeleceu uma largura de 30 metros para o curso d'água e uma largura de 50 metros para as nascentes.

No mapa de simulação de perda de solo (Figura 19) também por ser observado que há um predomínio e um acréscimo de áreas com valores inferiores a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em relação à perda de solo atual, abrangendo 66,5%, de acordo com a Tabela 17. Também houve um acréscimo de área na classe de 10 a  $20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com um total de 14,4% da área, classificada segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (2010) como baixa perda de solo, porém as áreas classificadas como moderada houve uma redução, passando para 12,9% do total da área.

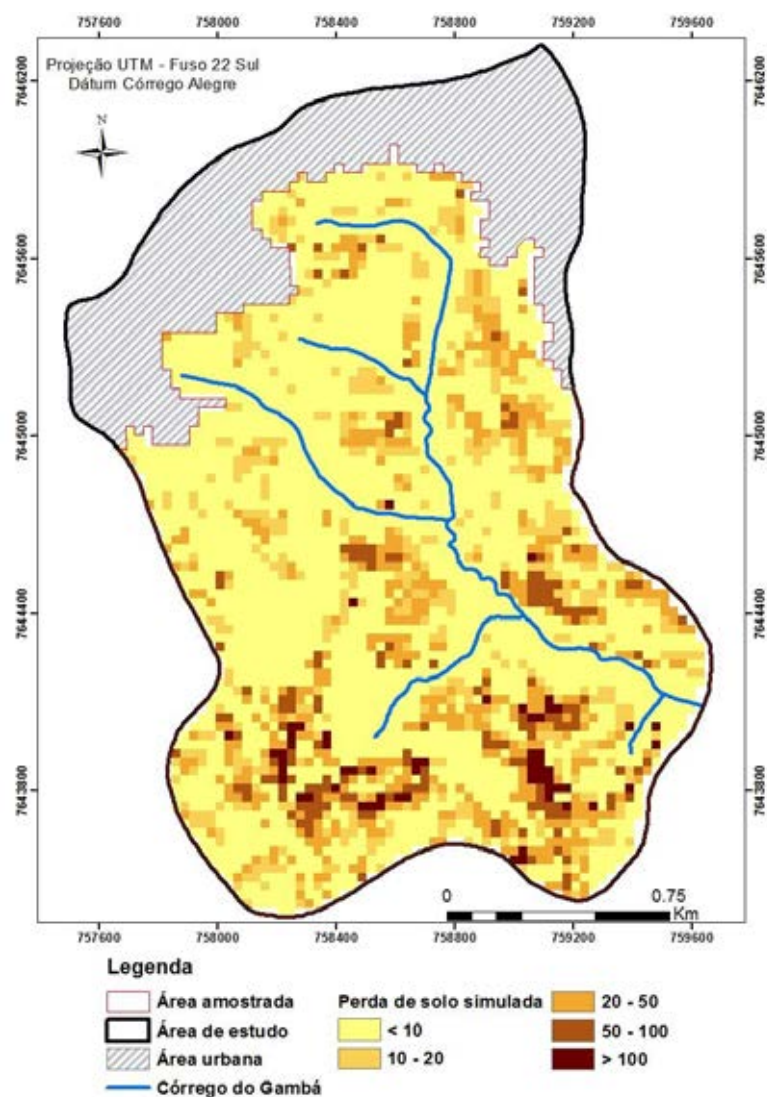


Figura 19. Mapa da simulação da perda de solo da área de estudo, com as áreas de APP florestadas.

Tabela 17. Áreas correspondentes às classes de perda de solo simulada com área de APP reconstituída, segundo classificação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2010)

| Classificação | Classe definida                       | Área  |      |
|---------------|---------------------------------------|-------|------|
|               | t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> | ha    | %    |
| Muito baixo   | < 10                                  | 219,4 | 66,5 |
| Baixo         | 10 - 20                               | 47,4  | 14,4 |
| Moderado      | 20 - 50                               | 42,6  | 12,9 |
| Alto          | 50 - 100                              | 15,3  | 4,6  |
| Muito Alto    | > 100                                 | 5,4   | 1,6  |

Houve redução nas áreas das classes que representam as maiores perdas de solo, classificadas como alta e muito alta, que somam 6,3%, sendo que na estimativa da perda de solo atual resultou em 8,3% da área total, porém o valor máximo de perda de solo simulado foi de 407,1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Resultados obtidos por BESKOW et al. (2009) mostraram a importância da cobertura do solo para a gestão de bacias hidrográficas, o qual a maior parte dos solos de sua área de estudo são caracterizados por uma alta vulnerabilidade à erosão, alta declividade e do fator erosividade alta, no entanto, os fatores práticas conservacionistas e o fator cobertura do solo foram importantes na redução da erosão. Para Fu et al. (2006) os resultados de simulação aplicadas à RUSLE, alterando o cenário das práticas de plantio direto tiveram como resultado a redução da perda de solo e produção de sedimentos.

Na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, DEMARCHI (2012) elaborou uma simulação de erosão com a adequação do uso e manejo do solo e práticas conservacionistas em relação à capacidade de uso da terra, como resultado, houve uma diminuição da área com perda de solo inferior a 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, de 68,35% (atual) para 59,4 % (cenário), a área classificada como "moderada" aumentou de 18,79% para 37,37%, porém as áreas classificadas como classe "alta" e "muito alto" diminuíram expressivamente.

Entende-se que a gestão das áreas periurbanas é necessária e de extrema importância na conservação dos recursos naturais, principalmente em ambientes submetidos à intensa pressão antrópica, caracterizados por solos com alta erodibilidade, relevo com declividade acentuada e alto potencial natural à erosão, conforme os dados observados. A recomposição das áreas de preservação permanente é uma alternativa para diminuir a perda de solo na área, influenciando positivamente a conservação do solo e da água.

## **V. CONCLUSÕES**

Os valores estimados do fator erodibilidade do solo teve o predomínio de valores altos.

O mapa do potencial natural de erosão (PNE) permitiu identificar que as áreas localizadas na escarpa, onde se localizam as maiores declividades, da área de estudo, são as que apresentaram maiores valores de PNE.

O fator LS foi o que apresentou maior correlação com o PNE, o que mostra uma limitação da área quanto à expansão urbana.

A perda de solo (A) também foi mais influenciada pelo fator topográfico, seguido das práticas conservacionistas e do uso do solo, que caracterizam um ambiente suscetível à erosão.

Devido ao uso/ocupação atual, 65,8% da área de estudo está abaixo do limite máximo tolerável para a classe dos Argissolos.

A alteração no uso do solo, de pastagem ou cana-de-açúcar, para área urbana aumentaria a perda de solo.

A restauração das APPs do Córrego do Gambá, de acordo com o novo Código Florestal, diminuiria a perda de solo na área, principalmente as áreas classificadas como alta e muito alta.



## VI. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. de. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Bol. Inst.Geogr. e Geol.**, São Paulo, v.41, p.169-263, 1964.

AMARAL, N. D. **Noções de conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1984.

ARRAES, C. L. **Estimativa da perda de solo e expectativa de erosão na Microbacia Córrego do Tijuco – SP**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Eletrônica, 2006.

BAPTISTA, P. R. D.; CUNHA, L. O. B. P.; DIAS, R. D. Estudo da erosão em zonas de expansão urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1994. p.849-855.

BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DA EROSÃO, 2., 1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBGE, 1981. p. 117-137.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7.ed. São Paulo: Ícone. 2010.

BERTOL, I. **Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990**. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 29, n. 9, p. 1453-1458, 1994.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. **Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um cambissolo húmico aluminico**. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, MG, v. 25, p. 451-461, 2001.

BESKOW, S. et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, Amsterdam, v.79, n.1, p.49-59, out. 2009.

BEWKET, W; TEFERI, E. Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: case study in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. **Land degradation & Development**, Chichester, v.20, n. 7, p. 609-622, 2009.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BRANCO, S. B. C.; S, A. A. C.; MATIAS, S. S. R.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANTOS, H. L. Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, vol. 8, n. 2, p.324-330, 2013.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 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.

BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012.

BURGESS, T. M., WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 1. The semi-variogram and punctual kriging. **J. Soil Sci.**, Oxford, v.31, p.315-331, 1980.

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 Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p.297-304, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000300011>>. Acesso em: 4 set. 2014.

CARRIJO, B. R.; BACCARO, C. A. D. Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.1, n 2, p. 70-80, 2000

CARVALHO, M.D.; LOMBARDI NETO, F.; FILHO, J.V.; CATANEO A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): Primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 13, p. 237-242, 1989.

CECÍLIO, R. A.; RODRIGUEZ, R. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista do Verde**, Mossoró, v.4, n.2, p. 39-45. 2009.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731-750.

COELHO-NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; LACERDA, W. A. Landslides and Disasters in Southeastern and Southern Brazil. Chapter 12, pages 223 – 243. In: LATRUBESSE, E. M. **Natural hazards and human-exacerbated disasters in latin america**. Elsevier, 2010, v. 13, 510 p.

COGO, N.P.; DREWS, C.R. & GIANELLO, C. Índice de erosividade das chuvas dos municípios de Guaíba, Ijuí e Passo Fundo, no Estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1978. p.145-152.

COSTA, S. G. F.; SILVA, R. M. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do Riacho Guaraíra. **Cadernos do Logepa**, João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 72-91. 2012.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. 90 p.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

DeMARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 263-270, 1997.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 114 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

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

DONZELLI, P. L. et al. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de Microbacias Hidrográficas. **Documentos IAC**, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva** – GIS and Image Processing Software – version 17. Worcester: Clark Labs, 2002.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS / ArcMap**. Professional GIS for the desktop, release 10.2. Redlands. 2013.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Rev. Bras. Geomorfol.**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FELGUEIRAS, C.A. **Modelagem numérica de terreno**. 2012. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/4mnt.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/4mnt.pdf)>. Acesso em: 12 maio de 2014.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A. Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p. 195-205, 1996 a.

FRANK, B. Promoção da gestão de recursos hídricos em bacia hidrográfica: aprendizagem do projeto Piava. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, v. especial, p. 123 - 138, 2010.

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006. 271p.

FU, G. B.; CHEN, S. L.; MCCOOL, D. K. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and ArcView GIS. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, n. 1-2, p. 38-49, 2006.

FROTA, P. V. **Potencial de erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE**. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GARCIA RODRIGUEZ, J.L.; SUÁREZ, M.C.G. Historical review of topographical factor LS, of water erosion models. **Aqua-LAC**, v. 2, n. 2, p. 56–61, 2010.

GOVERS, G. Rill erosion on arable land in central Belgium: rates, controls and predictability. **CATENA**, Amsterdam v. 18, n. 2, p. 133–155. 1991.

GOTWAY, C. A., FERGUSON, R. B., HERGERT, G. W., PETERSON, T. A. Comparison of kriging and inverse distance methods for mapping soil parameters. **Soil Sci. Soc.**

**Am. J.**, Madison, v. 60, p. 1237-47, 1996.

HICKMANN, C.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 825-831, 2008.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3rd.ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 391p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica**: folha Taquaritinga – SF-22-X-D-II-4. Serviço Gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica**: folha Jabuticabal – SF-22-X-D-III-3. Serviço Gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1994a. (IPT. Publicação 2089).

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa de Erosão do Estado de São Paulo, SP**. São Paulo. (IPT. Relatório, 33.402). 1995.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:500.000.

IORI, F. V.; GARCIA, K. L. *Barreirosuchus franciscoi*, um novo Crocodylomorpha Trematochampsidae da Bacia Bauru, Brasil. **Rev. Bras. Geociên.**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 397-410, 2012.

ISSAKS, E.H., SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.

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

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. London, Academic Press, 1991. 600 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

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. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual 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.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**. 5 a Aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LIMA, J. M. de. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)**. 1987. 86 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1987.

LIMA, P. M. P.; ANDRADE, H. Erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B textural e B latossólico do sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 463-474, 2001.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. 1977. 53 f. Tese (Mestrado) - Purdue University, West Lafayette, 1977.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975a. 12 p. (Boletim Técnico, 27).

LOMBARDI NETO, F.; MARIA, 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, MG, v.12, n.1, p.71-75, 1988.

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

LOPES, F. B. L.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agroambiente On-line**, Roraima, v. 5, n. 2, p.88-96, 2011.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; CRESPO, G. C. **Utilização da “Equação Universal de Perda de Solo Revisada” para estudos de bacias hidrográficas**. 2013. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/92d68e628e893ebf92c119cd18f30876\\_709b84efb8c6f760cfdcb95cb2a4ccd2.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/92d68e628e893ebf92c119cd18f30876_709b84efb8c6f760cfdcb95cb2a4ccd2.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2014.

LUCA JUNIOR, P. R.; MARTINS FILHO, M. V. **Padrão espacial da erodibilidade em sulcos em um Latossolo**. Botucatu: SGeA, 2009.

MANZINI, F. F. **O Cretáceo da região de Monte Alto - SP**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

MARQUES JUNIOR, J.; CORÁ, J. E. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 31-70.

MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. A. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos. **Rev. Bras. Geomorfol.**, Uberlândia, v. 8, n. 2, p. 57-71, 2007.

McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **J. Soil Sci.**, v. 37, p. 617-639, 1986.

MCCOOL, D. K. et al. Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, sept./oct., 1989. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=3&AID=31192&CID=t1989&v=32&i=5&T=2&redirType=>>>. Acesso em: 18 mar 2014.

MCCOOL, D. K. et al. Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, sept./oct., 1987. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=3&AID=30576&CID=t1987&v=30&i=5&T=2&redirType=>>>. Acesso em: 19 mar. 2014.

MELLO, G.; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., Campina Grande**, v.10, p.294-305, 2006.

MIDDLETON, H.E. **Properties of soils which influence soil erosion**. Washington: USDA, 1930. 16p. (Technical bulletin, 178).

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In, SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-9.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

MIQUELONI, D.P.; BUENO, C.R.P. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 2175-2182, 2011.

MOREIRA, M. C. et al. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 88-92, abr./jun. 2006.

MURPHREE, C.E.; MUTCHLER, C.K. Cover and management factors for cotton. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 23, p. 585-595, 1980.

MUSGRAVE, G.W. **The quantitative evaluation of factors in water erosion- A first approximation**. J. Soil Water Conservation, v. 2, p. 133–138, 1947.

NEARING, M.A. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 61, v. 3, p. 917–919, 1997.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZALBOLCS, I. (Ed.). **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford: CAB International, 1994. p. 99-118.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. (1999). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA. Solos. 64p.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; PANACHUKI, E. Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. **Ambi-Água**, Taubaté, v.5, n.2, p.217-225, maio/ago. 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/928/92815026019.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2014.

OLIVEIRA, B. E. N.; MATRICARDI, E. A. T.; CHAVES, H. M. L.; BIAS, E. S. Identificação dos processos erosivos lineares no Distrito Federal através de fotografias aéreas e geoprocessamento. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n.1, p. 152-165, 2013.

OZCAN, A. U. et al. Use of USLE / GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of Indagi Mountain Pass - Çankiri, Turkey. **Environmental Geology**, v. 53, n. 8, p. 1731-1741, 2008.

PACHECO, F. A. L.; CATALÃO, M. E. C. **Avaliação da perdas de solos e do risco de erosão hídrica pela equação universal das perdas de solo utilizando sistemas de informações geográfica**. Lisboa: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real, 2010.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Área periurbana de São Carlos-SP. **Rev. Bras. Cartogr.**, Rio de Janeiro, n. 56, v. 1, 2004.

PETAN, S.; TAVEIRA-PINTO, F.; MIKO, M.; PAIS-BARBOSA, J. Modelação da erosão do



solo da bacia hidrográfica do Rio Leça, com a equação RUSLE e SIG. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**. v. 31-01, 2010.

PISSARRA, T.C.T.; CARVALHO, M.P.; CHUEIRE, F.B. Erosividade da chuva de Pereira Barreto (SP): Distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, 2000. **Anais...** Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM.

PRESBITERO, A. L.; ROSE, C. W.; YU, B.; CIESIOLKA, C. A. A.; COUGHLAN, K. J.; FENTIE, B. Investigation of Soil Erosion from Bare Steep Slopes of the Humid Tropic Philippines. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1–30, 2005.

PROCHNOW, D.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 91-98, 2005.

PRUSKI, F. F. Processo físico de ocorrência da erosão hídrica. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, p. 24-39, 2009.

RAIJ, B. V.; 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.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: [s. n.], 2006. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/msrs/textos%20download/apresentacoes%20aulas%20palestras/propriedades%20fisicas%20do%20solo%20-%20reichert\\_reinert.pdf](http://w3.ufsm.br/msrs/textos%20download/apresentacoes%20aulas%20palestras/propriedades%20fisicas%20do%20solo%20-%20reichert_reinert.pdf)>. Acesso em: 19 jun. 2013.

RENARD, K.G. et al. **Predicting soil erosion by water: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703).

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. RUSLE: Revised universal soil loss equation. **J. Soil Water Conserv.**, Ankeny, v. 46, p. 30-33, 1991.

RIBEIRO, S. L. **Aplicação do sistema de informação geográfica nacional ao estudo de erosão dos solos por meio do modelo EUPS na microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá-SP**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

ROBERTSON, G.P. **GS+: Geoestatistics for the environmental sciences-GS+ User's Guide**. Plainwell, Gamma Desing Software, 1998. 152 p.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG**. 2003. 101 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2003.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, 1997. Escala 1:500.000.

ROSSI, R. E., DUMGAN, J. L., BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sensing Environment**. v. 49, p. 32-40, 1994.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA K, W. N.; PRUSKI F, F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678, 2002.

SERIO, J.; COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. S.; ORTEGA, E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 213-221, 2008.

SILVA, A. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 124 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1990.

SILVA, A. F. **Geoestatística**. Botucatu: GEPAG, FCA, Unesp. 2010. 47p.

SILVA, A. S. **Análise morfológica dos solos e erosão**. In: GUERRA. A. G. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2005. p.101-124.

SILVA, G. J. F.; MARCOLA, M. B. Avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Miriri-PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** p. 1803-1810.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B. C.; SILVA, L. P. Avaliação espacial e temporal de perdas de solo usando o sistema de informações geográficas (SIG). **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.1, n.2, p. 1-128, 2007.

SILVA, G. J. F.; MARCOLA, M. B. Avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Miriri-PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** p.1803-1810.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. **Análise da Fragilidade Ambiental do Córrego das Mocas em Uberlândia - MG**. Viçosa: UFV, 2009.

SMITH, D.D.; WHITT, D.M. Estimating soil losses from field areas. **Agric. Eng.**, St Joseph, v. 29, p. 394–396, 1948.

SIMÕES, H. D. G. **Modelação espacial da erosão hídrica do solo aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**. 2013, Dissertação (Mestrado) - Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, 2013.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Using landforms to predict spatial and temporal variability of soil and orange fruit attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v.155, n.1-2, p.55-66, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.024>>. Acesso em: 9 set. 2014.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. **Sub-bacias Hidrográficas Unidades Básicas Para o Planejamento e Gestão Sustentáveis das Atividades Rurais**. 1998. Disponível em: <[http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia\\_agua\\_solo/disciplinas/eng\\_170/Bacias%20-%20Artigo%20Informe%20Agropecuario.pdf](http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia_agua_solo/disciplinas/eng_170/Bacias%20-%20Artigo%20Informe%20Agropecuario.pdf)> Acesso em: 10 jun. 2013.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 367-372, 1997. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v21n3a03.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2014.

SOUZA, C.K.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 1067-1074, 2003.

STEIN, A. Spaces for data. **ITC Journal**, Enschede, v.3, p.261-265, 1995.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Geografía física**. 4 ed. Barcelona: Ind Gráf. Olsina, 2005.

TAKEDA, E. Y. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a Videira (Vitis vinífera L.) em Vitória Brasil-SP**. 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2000.

TEIXERA, D. B.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA Jr., N. Comparação entre métodos de interpolação na determinação de propriedades físicas de um latossolo. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 1, 2009, Botucatu. **Anais...**

THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geogr. R.**, New York, v.38, p.55-94, 1948.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARAES, E. Determinação da capacidade de usos do solo de bacia hidrográfica através da sistematização da EUPS no SPRING. **Geociências**, Rio Claro, v. 26, n. 4, p. 323-332, 2007.

TRIPATHI, M. P.; PANDA, R. K.; RAGHUWANSHI, N. S. Identification and prioritisation of critical sub-watersheds for soil conservation management using the SWAT model. **Biosyst. Eng.**, London, v. 85, n. 3, p. 265-379, 2003.

UHDE, L. T.; BONUMÁ, N. B.; DALBIANCO, L.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M.; VOLGELMANN, E. S.; BARROS, C. A. P.; RODRIGUES, R. Aplicação da RUSLE combinada ao SIG para estimativa de perdas de solo em uma vertente na depressão central do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...**

UNEP - United Nations Environment Programme. **World atlas of desertification**. 2nd ed. Nairobi: UNEP, 1997.

UZUMAKI, E. T. **Geoestatística Multivariada: Estudos de métodos de predição**. 1994. 104 f. Dissertação (Mestrado em Estatística / Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Coord.), **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: Faculdade Ciências Agrárias e Veterinárias e Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1994. p. 223-242.

VAN OOST, K.; GOVERS, G. **Usle2D**. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 2000.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VAUCHAUD, G.; NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field observations. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Madison, v. 47, p. 175-184, 1983.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. A.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M. Determinação de sequências culturais em microbacia hidrográfica para caracterização do fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Manaus: INPE, 1996. p. 63-67.

VELOSO, G. A.; LEITE, M. E.; ALMEIDA, M. I. S. Geotecnologias aplicadas ao monitoramento do uso do solo na bacia hidrográfica do Riachão, no norte de Minas Gerais. **Rev. Geogr.**, Recife, v. 28, n. 2, p.165-184, 2011.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Tese (Doutorado - Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIEIRA, S. R., NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Sci. Sci. Am. J.**, Madison, v. 45, p.1040-1047, 1981.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, p. 181-190, 1997.

VOLTZ, M.; LAGACHERIE, P.; LOUCHART, X. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area. **Eur. J. Soil Sci.**, Oxford, v.48, p.19-30, 1997.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

XAVIER, A. P. C.; SILVA, A. M.; SILVA, R. M. Mudanças espaço-temporais da variabilidade da precipitação e perdas de solo na bacia do rio Mamuaba, Brasil. **Cad. Logepa**, João Pessoa, v. 8, n. 1-2, p. 79-102, 2013.

WEILL, M.A.M; PIRES NETO, A.G. **Erosão e assoreamento**. Brasília: MMA, 2007

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. **Inst. Ass. Sci. Hidrology Common Land Erosion**. Pub, 1962. p. 148-159.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation. **Soil Sc. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

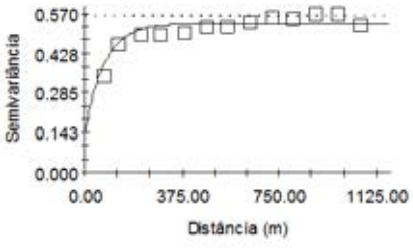
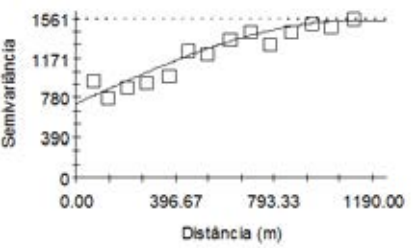
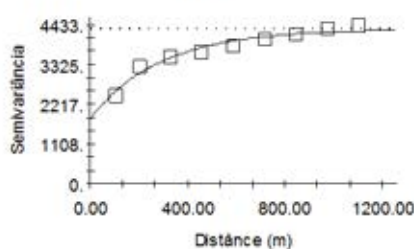
WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain**. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.

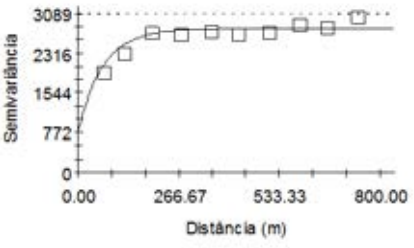
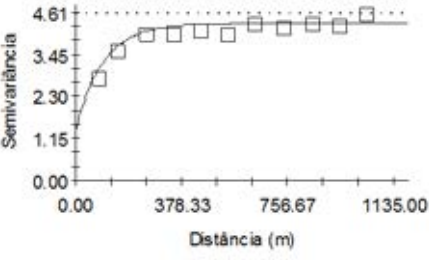
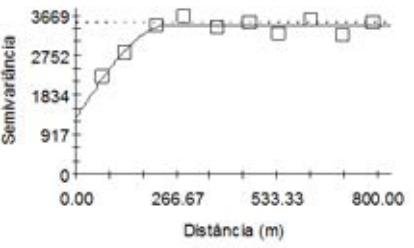
WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

WOODCOCK, C.E.; COLLINS, J.B.; GOPAL, S.; JAKABHAZY, V.D.; LI, X.; MACOMBER, S.; RYHERD,S.; HARWARD, V.J.; LEVITAN, J.; WU, Y.; WARBINGTON, R. Mapping Forest Vegetation Using Landsat Tm Imagery And A Canopy Reflectance Model. **Remote Sens. Environ.**, New York, v.50, n.3, p. 240-254, 1994.

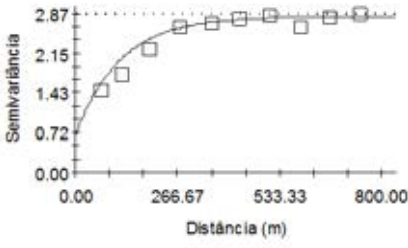
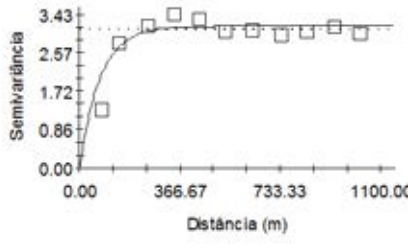
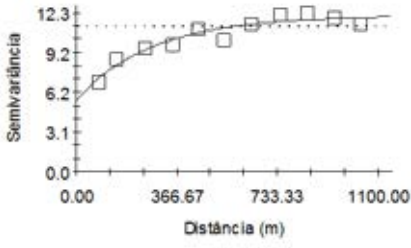
WRI. **A Estratégia Global da Biodiversidade: diretrizes de ação para estudar, salvar e usar de maneira sustentável e justa a riqueza biológica da Terra**. Washington: World Resources Institute, 1992.

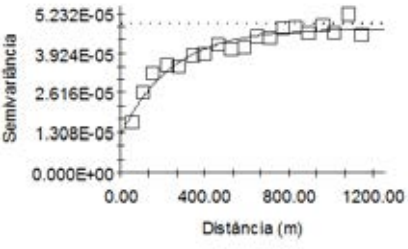
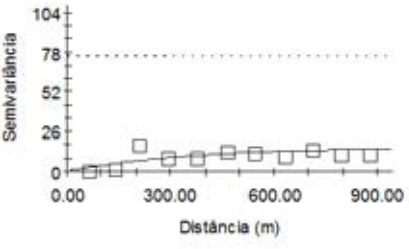
## APÊNDICE

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Areia Muito Grossa (AMG)</b></p> | <p style="text-align: center;">AMG: Isotropic Variogram</p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (Co = 0.1432; Co + C = 0.5380; A<sub>0</sub> = 76.00; r<sup>2</sup> = 0.873; RSS = 6.900E-03)</p> |
| <p><b>Areia Grossa (AG)</b></p>        | <p style="text-align: center;">Areia Grossa</p>  <p style="text-align: center;">Spherical model (Co = 725.00000; Co + C = 1545.00000; A<sub>0</sub> = 1106.58; r<sup>2</sup> = 0.915; RSS = 93283.)</p>        |
| <p><b>Areia Média (AM)</b></p>         | <p style="text-align: center;">Areia Média</p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (Co = 1839.79000; Co + C = 4330.37000; A<sub>0</sub> = 296.24; r<sup>2</sup> = 0.948; RSS = 160133.)</p>     |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Areia Fina<br/>(AF)</b></p>        | <p style="text-align: center;"><b>Areia Fina</b></p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (<math>C_0 = 806.14029</math>; <math>C_0 + C = 2798.00000</math>; <math>A_0 = 65.00</math>; <math>r^2 = 0.890</math>; <math>RSS = 154781.</math>)</p>    |
| <p><b>Areia Muito Fina<br/>(AMF)</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Areia Muito Fina</b></p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (<math>C_0 = 1.336</math>; <math>C_0 + C = 4.311</math>; <math>A_0 = 96.51</math>; <math>r^2 = 0.905</math>; <math>RSS = 0.383</math>)</p>        |
| <p><b>Areia Total<br/>(AT)</b></p>       | <p style="text-align: center;"><b>Areia Total</b></p>  <p style="text-align: center;">Spherical model (<math>C_0 = 1331.00000</math>; <math>C_0 + C = 3458.00000</math>; <math>A_0 = 246.00</math>; <math>r^2 = 0.895</math>; <math>RSS = 178507.</math>)</p> |



|   |   |
|---|---|
| <p style="text-align: center;"><b>Silte</b></p>                 | <p style="text-align: center;">Site</p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (<math>C_0 = 0.679</math>; <math>C_0 + C = 2.822</math>; <math>A_0 = 117.04</math>; <math>r^2 = 0.962</math>; <math>RSS = 0.206</math>)</p>                   |
| <p style="text-align: center;"><b>Argila</b></p>                | <p style="text-align: center;">Argila</p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (<math>C_0 = 0.001</math>; <math>C_0 + C = 3.161</math>; <math>A_0 = 76.00</math>; <math>r^2 = 0.870</math>; <math>RSS = 0.901</math>)</p>                 |
| <p style="text-align: center;"><b>Carbono Orgânico (CO)</b></p> | <p style="text-align: center;">Carbono Orgânico</p>  <p style="text-align: center;">Exponential model (<math>C_0 = 5.59000</math>; <math>C_0 + C = 12.14000</math>; <math>A_0 = 285.00</math>; <math>r^2 = 0.912</math>; <math>RSS = 2.41</math>)</p> |

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Erodibilidade<br/>(Fator k)</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Erodibilidade</b></p>  <p>Exponential model (<math>C_0 = 0.00001</math>; <math>C_0 + C = 0.00005</math>; <math>A_0 = 239.00</math>; <math>r^2 = 0.928</math><br/>RSS = <math>9.546E-11</math>)</p>   |
| <p><b>Erosividade<br/>(Fator R)</b></p>   | <p style="text-align: center;"><b>Erosividade: Anisotrópico (30°)</b></p>  <p>Exponential model (<math>C_0 = 0.100</math>; <math>C_0 + C = 15.952</math>; <math>A_{Major} = 351.79</math>;<br/><math>A_{Minor} = 262.69</math>; <math>r^2 = 0.712</math>; RSS = 28429.)</p> |