UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

FELIPE DE SOUZA NOGUEIRA TAGLIARINI

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS DE SOLO EM BACIA HIDROGRÁFICA

Botucatu

2017

FELIPE DE SOUZA NOGUEIRA TAGLIARINI

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS DE SOLO EM BACIA HIDROGRÁFICA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Campos

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – UNESP – FCA – LAGEADO – BOTUCATU (SP)

Tagliarini, Felipe de Souza Nogueira, 1992-
T126t **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na quantificação de perdas de solo em bacia hidrográfica / Felipe de Souza Nogueira Tagliarini. – Botucatu : [s.n.], 2017**
121 p. : fots. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Sérgio Campos
Inclui bibliografia

1. Bacias hidrográficas. 2. Solos - Erosão. 3. Sensoriamento remoto. 4. Sistema de Informação Geográfica. 5. Ciências ambientais – Modelos matemáticos. I. Campos, Sérgio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte."

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS DE SOLO EM BACIA HIDROGRÁFICA

AUTOR: FELIPE DE SOUZA NOGUEIRA TAGLIARINI
ORIENTADOR: SÉRGIO CAMPOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Prof. Dr. LINCOLN GEHRING CARDOSO
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Pos-Doutorando MIKAEL TIMÓTEO RODRIGUES
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP

Botucatu, 24 de fevereiro de 2017

DEDICATÓRIA

A minha amada mãe,

Gisele,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, energia suprema e causa primária de todas as coisas.

A toda a minha família, minha mãe Gisele, minha avó Ivannette, tios, tias, primos e primas por todo o apoio e torcida em todas as fases da minha vida tanto nos momentos de alegria quanto nos mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Sérgio Campos, pela orientação, convivência, sempre atencioso e disposto a ajudar, pela confiança depositada na minha pessoa e pela oportunidade e incentivo no meio acadêmico.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), câmpus de Botucatu e à Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, pela oportunidade do mestrado.

A todos do Departamento de Engenharia Rural da FCA (docentes e funcionários), em especial ao Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros e ao Ronaldo Pollo pelos ensinamentos, convivência e incentivo.

A Prof. Dra. Beatriz de Oliveira Costa pela atenção, ensinamentos e materiais disponibilizados sobre o tema desta dissertação.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação e aos funcionários da sempre bem organizada biblioteca do Lageado (FCA/UNESP), sempre dispostos em ajudar nas nossas solicitações e para tirar dúvidas.

Aos participantes das bancas examinadoras de qualificação e de defesa desta dissertação, Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso e Prof. Dr. Mikael Timóteo Rodrigues por todas as sugestões que muito contribuíram para este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida para o Mestrado, fundamental na realização e continuidade deste trabalho.

Aos bons amigos que fiz nesse período de Pós-Graduação, nas disciplinas, grupos de estudo, no dia-dia nos momentos de descontração e convivência, esses anos ao lado de todos vocês foram muito especiais e gratificantes: Yara, Mikael, Ana Clara, Andréia, Bruno, Sara, Samuel, Enedy, Amanda, Aline, Gabriel e Letícia.

Do Grupo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologia, Geoprocessamento e Topografia (GEPEGEO) do Departamento de Engenharia Rural da FCA em especial, a Yara Manfrin Garcia e ao Mikael Timóteo Rodrigues, que praticamente foram meus

"segundos orientadores" pelas valiosas trocas de conhecimento científico, incentivo, ensinamentos, convivência diária, amizade e companheirismo.

Aos amigos de graduação (Manolos), que apesar do tempo e relativa distância ainda mantemos contato pelas redes sociais, sempre com conversas alegres e descontraídas, trocando experiências profissionais, conhecimentos científicos e incentivo nessa jornada após a graduação: Kjob's (Gustavo), Bazinga (Eric), Coxonilha (Jadson), Alf (Rafael), Dismaio (Rodrigo Navarro), Teca (Estela) e Jesus Negão (Rodrigo Pereira).

A toda a galera do MTG de Botucatu pelos momentos de confraternização e descontração proporcionados por esse *trading card game* durante todo esse período acadêmico.

A todos os professores que tive o privilégio e a felicidade de ter aula no programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, por fazerem da ciência um verdadeiro mecanismo de aprendizagem científico aos futuros acadêmicos desse Brasil.

E enfim, a todos aqueles que não tiveram seus nomes citados ou referenciados, mas que de alguma maneira direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desta dissertação, a todos vocês minha sincera e cordial gratidão!

EPÍGRAFE

“As coisas que um dia eu imaginei como minhas maiores conquistas foram apenas o primeiro passo ruma a um futuro que apenas comecei a visualizar”.

(Jace Beleren - Magic The Gathering® Card Game - Carta “Omnisciense”)

RESUMO

A erosão hídrica consiste no fator principal de degradação do solo em áreas rurais. O processo de perda de solo é influenciado por fatores como a precipitação, pelas características naturais do solo em se degradar, das características topográficas e a ação do homem por meio do uso e ocupação do solo e de práticas de caráter conservacionista, que podem acelerar ou reduzir o processo. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma estimativa das perdas de solo por erosão, por meio da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), para avaliar o grau de degradação existente na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas, localizada entre os municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu, Estado de São Paulo. A área de estudo situa-se geograficamente entre as coordenadas 48° 19' 37'' a 48° 16' 13'' de longitude W Gr. e 22° 59' 59'' a 22° 54' 30'' de latitude S, apresentando uma área de 2.649,66 hectares. Os mapas de Erosividade da chuva, Erodibilidade do solo, fator topográfico, uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas foram elaborados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) a partir de dados do programa netErosividade SP, mapa de solos do Estado de São Paulo, do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) - Projeto TOPODATA - e de imagens do satélite LANDSAT-8, respectivamente. Foram determinados o Potencial Natural de Erosão (PNE), a perda média anual de solo, as subclasses de capacidade de uso do solo e a adequação agronômica das terras da bacia do Córrego Anhumas. A maior parcela do PNE está no limite aceitável de possíveis perdas, sendo as áreas com potencial mais crítico, praticamente restritas a porção mais declivosa e com maior taxa de Erosividade. As perdas de solos por meio do modelo da RUSLE evidenciaram que o processo erosivo resulta da interação de fatores abióticos (intrínsecos do meio) e bióticos (ação antrópica), porém sofreu maior influência do Fator C, principalmente devido a influência da Vegetação Nativa e das Áreas de Preservação Permanente (APP). O mapa das subclasses de capacidade de uso do solo, permitiu a indicação dos usos e manejos em teoria mais adequados a realidade da bacia em função de suas características, principalmente das classes de solo e da declividade. A sobreposição dos mapas de perdas de solo e das subclasses permitiu a elaboração do mapa de adequação agronômica, que demonstrou a aptidão da bacia para culturas anuais, perenes em geral, reflorestamentos e pastagens, além da importância de aliar áreas de conservação/preservação da vegetação nativa com as áreas de produção agrícola, de maneira equilibrada, contribuindo ainda mais para a diminuição das taxas de perdas de solo por erosão, gerando menor degradação ambiental e podendo ser um modelo de planejamento agrícola.

Palavras-chave: Processo Erosivo do Solo. Adequação Agronômica. Modelagem Ambiental. Sensoriamento Remoto. Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

Water erosion is the main factor of soil degradation in rural areas. The process of soil loss is influenced by factors such as rainfall, natural characteristics of the soil in degrading itself, topographic features and the action of man through the use and occupation of the soil and conservationist practices, which can accelerate or reduce the process. The present study aimed to estimate soil losses by erosion, through the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), to evaluate the degradation degree of the watershed of Anhumas stream, located among the municipalities of Anhembi, Bofete and Botucatu, State of São Paulo. The study area is located geographically between the coordinates 48° 19' 37" to 48° 16' 13" of W Gr. longitude and 22° 59' 59" to 22° 54' 30" of S latitude, with an area of 2,649.66 hectares. The maps of rainfall Erosivity, soil Erodibility, topographic factor, use and occupation of soil, and soil conservation practices were elaborated in a Geographic Information System (GIS) from datas of the software netErosividade SP, soil map of the State of São Paulo, Digital Model of Elevation (DEM), - TOPODATA Project - and images of the LANDSAT-8 satellite, respectively. Was determined the Natural Potential for Erosion (NPE), the average annual soil loss, the subclasses of soil use capacity and the agronomic adequacy of lands of the Anhumas stream. The largest portion of the NPE is at the acceptable limit of possible losses, the areas with more critical potential, practically restricted to the more sloping portion and with higher Erosivity rate. Soil losses through the RUSLE model evidenced that the erosion process results of the interaction of abiotic (intrinsic of enviroment) and biotic factors (antropic action), but it was more influenced by Factor C (use and occupation of soil), mainly due to the influence of native vegetation and Permanent Preservation Areas (PPA). The map of subclasses of soil capacity use, allowed the indication of the uses and management in theory more adequate to the reality of the watershed in function of it's characteristics, mainly due to soil classes and slope. The overlap of soil loss map and subclasses map allowed the elaboration of the map of agronomic adequacy, which demonstrated the capability of the watershed for annual crops, perennials in general, reforestation and pasture, besides the importance of allying areas of conservation/preservation of the native vegetation with areas of agricultural production, in a balanced way, contributing even more to the reduction of soil loss rates due to erosion, generating less environmental degradation and it can be a model of agricultural planning.

Keywords: Soil Erosion. Agronomic Adequacy. Environmental Modeling. Remote Sensing. Geographic Information System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Localização da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 60
Ilustração 2 – Perfil da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 62
Ilustração 3 – Uso do solo na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 63
Ilustração 4 – *Software* netErosividade SP para estimativa da erosividade da chuva 67
Ilustração 5 – Erosividade (Fator R) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 81
Ilustração 6 – Erodibilidade (Fator K) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 83
Ilustração 7 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 85
Ilustração 8 – Fator Topográfico (LS) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 87
Ilustração 9 – Uso e Ocupação do solo (Fator C) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 89
Ilustração 10 – Uso e Ocupação em APP na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 91
Ilustração 11 – Práticas conservacionistas de solo (Fator P) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 96
Ilustração 12 – Potencial Natural de Erosão (PNE) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 97
Ilustração 13 – Modelo RUSLE da perda anual média de solos da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 99
Ilustração 14 – Subclasses de capacidade de uso do solo para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 103
Ilustração 15 – Adequação agronômica da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subclasses de capacidade de uso do solo 44
Tabela 2 – Características das bandas utilizadas do satélite LANDSAT-8 65
Tabela 3 – Valores de Erosividade para os municípios pertencentes a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 68
Tabela 4 – Valores de Erodibilidade das classes de solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 69
Tabela 5 – Classes de declive e relevo correspondentes do Fator S 70
Tabela 6 – Valores do Fator C referente as classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 72
Tabela 7 – Valores do Fator P de cada prática conservacionista observada 73
Tabela 8 – Classes do Potencial Natural de Erosão (PNE) 74
Tabela 9 – Classes indicativas para as perdas de solo 75
Tabela 10 – Determinação das classes de capacidade de uso por critério de julgamento 76
Tabela 11 – Determinação das subclasses de capacidade de uso por critério de julgamento 78
Tabela 12 – Classes de adequação agronômica 80
Tabela 13 – Abrangência do Fator R nos municípios da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 82
Tabela 14 – Abrangência do Fator K e tipos de solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 84
Tabela 15 – Áreas das classes de declive e relevo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 86
Tabela 16 – Classes de inclinação do terreno (Fator LS) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 88
Tabela 17 – Classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 90
Tabela 18 – Uso e ocupação do solo em APP na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 92
Tabela 19 – Práticas conservacionistas de solos presentes na bacia

hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 95
Tabela 20 – Classes de PNE da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 96
Tabela 21 – Classes de perdas de solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 100
Tabela 22 – Subclasses de capacidade de uso do solo para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 104
Tabela 23 – Adequabilidade agronômica da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP 108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP Área(s) de Preservação Permanente 64
BDE Bancos de Dados Espaciais 58
BDG Bancos de Dados Geográficos 58
CEPAGRI Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura 61
DEM *Digital Elevation Model* 55
EI Índice de Erosão 38
EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 70
ESRI *Environmental Systems Research Institute* 54
ETM *Earth Trends Modeler* 57
EUA Estados Unidos da América 64
GIS *Geographic Information System* 52
GPRH Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos 66
GPS Sistema de Posicionamento Global 47
IAC Instituto Agronômico de Campinas 62
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 63
INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 63
IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas 61
LCM *Land Change Modeler* 57
LVAd Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico 69
MDE Modelo Digital de Elevação do Terreno 36
OLI *Operacional Land Imager* 64
PIB Produto Interno Bruto 62
PNE Potencial Natural de Erosão 33
PVAd1 Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico 69
PVAd2 Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Neossolo Litólico Distrófico 69
RGB *Red, Green and Blue* 71
RS Estado do Rio Grande do Sul 57

RUSLE Equação Universal de Perdas de Solo Revisada 26
SGBD Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados 58
SIG Sistema(s) de Informações Geográficas 26
SIGRH-SP Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo 60
SP Estado de São Paulo 60
SRTM *Shuttle Radar Topography Mission* 63
TIN *Triangulated Irregular Network* 55
UFV Universidade Federal de Viçosa 66
UGRHI Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 60
USGS *United States Geological Survey* 63
USLE Equação Universal de Perdas de Solo 26
UTM Universal Transversa de Mercator 71
VANTs Veículos Aéreos Não Tripulados 50
WGS *World Geodetic System* 71

LISTA DE SÍMBOLOS

nº	Número	27
A	Perda média anual de solo	32
R	Fator Erosividade da chuva	32
K	Fator Erodibilidade do solo	32
L	Fator comprimento de rampa	32
S	Fator declividade	32
C	Fator uso e ocupação do solo	32
P	Fator práticas conservacionistas	32
MJ	Megajoule	32
mm	Milímetros	32
ha	Hectares	32
h	Hora	32
t	Toneladas	32
mg	Miligramas	35
%	Porcentagem	36
LS	Fator topográfico	36
a	Limitação por água	44
c	Limitação climática	44
e	Limitação por erosão	44
s	Limitação por solo	44
3D	Três dimensões	56
S	Sul	60
W	Oeste	60
Gr.	Meridiano de *Greenwich*	60
º	Graus	60
'	Minutos	60
''	Segundos	60
ºC	Graus Celcius	61
km²	Quilômetros quadrados	61
µm	Micrómetros	65

m Metros 65
> Maior 76
< Menor 76

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**25**
2	**REVISÃO DE LITARATURA**	**27**
2.1	**Bacia hidrográfica como unidade de estudo**	**27**
2.2	**Processo erosivo do solo**	**30**
2.3	**Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)**	**32**
2.3.1	**Fator R (Erosividade da chuva)**	**33**
2.3.2	**Fator K (Erodibilidade do solo)**	**34**
2.3.3	**Fator LS (Comprimento de rampa e Declividade)**	**35**
2.3.4	**Fator C (Uso e Ocupação do solo)**	**37**
2.3.5	**Fator P (Práticas conservacionistas)**	**39**
2.3.6	**Vantagens e desvantagens na aplicação de modelos**	**40**
2.4	**Aptidão agrícola e capacidade de uso do solo**	**42**
2.5	**Geomática e Geoprocessamento**	**46**
2.5.1	**Geotecnologias**	**47**
2.5.2	**Sensoriamento Remoto**	**50**
2.5.3	**Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**	**52**
2.5.3.1	***Software* ArcGIS**	**54**
2.5.3.2	***Software* TerrSet**	**56**
2.5.4	**Banco de Dados Geográficos**	**57**
3	**MATERIAL E MÉTODOS**	**59**
3.1	**Material**	**59**
3.1.1	**Caracterização da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas**	**59**
3.1.2	**Bases cartográficas**	**63**
3.1.3	**Imagens de satélite e *softwares***	**64**
3.2	**Métodos**	**66**
3.2.1	**Delimitação da área e rede de drenagem**	**66**
3.2.2	**Modelo da RUSLE e a obtenção de seus fatores**	**66**
3.2.2.1	**Obtenção da Erosividade da chuva (Fator R)**	**67**
3.2.2.2	**Obtenção da Erodibilidade do solo (Fator K)**	**68**

3.2.2.3 Obtenção do comprimento de rampa e declividade (Fator LS) 69
3.2.2.4 Obtenção do uso e ocupação do solo (Fator C) 71
3.2.2.5 Obtenção das práticas conservacionistas (Fator P) 73
3.2.2.6 Determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE) 74
3.2.2.7 Determinação da RUSLE 75
3.2.3 Determinação das subclasses de capacidade de uso do solo 75
3.2.4 Adequação agronômica da bacia hidrográfica 78
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 80
4.1 A Equação Universal de Perdas de Solo 80
4.1.1 Erosividade (Fator R) 81
4.1.2 Erodibilidade (Fator K) 83
4.1.3 Topografia 85
4.1.3.1 Declividade 85
4.1.3.2 Comprimento de rampa e Declividade (Fator LS) 86
4.1.4 Uso e Ocupação do solo (Fator C) 89
4.1.5 Práticas conservacionistas de solo (Fator P) 94
4.1.6 Potencial Natural de Erosão (PNE) 96
4.1.7 Perda média anual de solo (Modelo RUSLE) 99
4.2 Subclasses de capacidade de uso do solo 103
4.3 Adequação agronômica do Córrego Anhumas 106
5 CONCLUSÕES 110
REFERÊNCIAS..... 112

1 INTRODUÇÃO

A temática ambiental tem sido um dos principais assuntos discutidos a nível mundial nos últimos anos. A busca por alternativas e soluções que possam minimizar os impactos que são causados de forma direta ou indireta ao meio ambiente passa pelo estágio inicial de reconhecimento do ambiente físico, tais como: hidrografia, topografia, uso e ocupação da terra, clima, pedologia, entre outros, uma vez que dentre os citados há restrições quanto à forma de uso e ocupação do solo.

O uso que o solo recebe deve ser manejado de forma a promover a proteção do mesmo e também assegurar a maior eficiência possível de uma cultura, no caso da produção agrícola, com o uso de técnicas conservacionistas de proteção do solo e conhecimento pleno da área. Existem certos tipos de práticas agrícolas que permitem ajustar as atividades no campo de forma a maximizar o potencial de utilização do solo e de proteger áreas com relativa importância ambiental, dessa maneira, contribuindo para a conservação e preservação da paisagem.

O solo possui uma grande extensão de cobertura sobre o globo terrestre, sendo uma das maiores fontes de nutrientes para os vegetais, microrganismos, animais e o homem. O solo possui um equilíbrio dinâmico entre os fatores que determinam suas características intrínsecas como: o clima, material de origem, topografia, biota e tempo, pois o não equilíbrio entre o mesmo e os seus constituintes desencadeia em processos de degradação, o qual é denominado de erosão ou processo erosivo do solo.

A erosão é uma das formas mais significativas de degradação do solo, ela sofre grande influência pela intensidade e distribuição anual das chuvas; pelas propriedades e características intrínsecas do próprio solo; pela topografia; pelo uso e ocupação da terra; e a presença ou ausência de práticas de conservação. A ação antrópica pode acelerar e/ou intensificar a dinâmica do processo erosivo, principalmente pelo seu uso inadequado e a ausência de práticas conservacionistas do solo. A interferência do homem pode ter como consequências negativas como: a perda de área agricultável; a redução da fertilidade natural do solo; o assoreamento

de cursos d'água pela deposição de sedimentos; a degradação e comprometimento de estradas rurais, entre outros prejuízos.

Além do uso adequado do solo e práticas de caráter conservacionista, a utilização de modelos, que possam predizer e quantificar as perdas de solos por erosão pode vir a ser de grande valor na tomada de decisão e maximização da produtividade no campo. Um modelo amplamente conhecido e com grande utilização na estimativa de perdas de solo por erosão é o da Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE). Vários fatores interferem nesta modelagem como: a erosividade da chuva; a erodibilidade do solo; a topografia; a cobertura e ocupação do solo; e o uso de práticas conservacionistas de solo. Esta modelagem posteriormente foi revisada e aperfeiçoada, resultando na Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE).

A RUSLE, basicamente é um reflexo do aperfeiçoamento da USLE por meio de pesquisas referente à dinâmica que ocorre no ambiente dentro do processo erosivo no agroecossistema rural voltado para a produção agrossilvipastoril. O modelo da RUSLE é composto pelos mesmos fatores que estão presentes na USLE, porém independentes, de forma a avaliar o potencial erosivo natural com as características intrínsecas do meio físico, as relacionando com a intervenção antrópica dentro de uma determinada área de interesse.

Aliado a isso, as técnicas de Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação, que podem ser implementadas no ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são de grande valia dentro do planejamento ambiental e na avaliação do uso e ocupação do solo, além da degradação do mesmo, permitindo a geração de estimativas para possíveis perdas de solos por erosão, a classificação das terras segundo as suas subclasses de capacidade de uso, a simulação da degradação de áreas através de múltiplos cenários e diversos tipos de análises espaciais, gerando como resultados mapas, gráficos e tabelas com uma grande gama de informações referentes a área de interesse com rapidez, precisão e confiabilidade.

A área escolhida é escassa de estudos, além de apresentar características que necessitam de planejamento, o que justifica sua escolha, e que como

contribuição possam servir de base para o planejamento ambiental destinado à recuperação, conservação e preservação ambiental da bacia hidrográfica.

Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo geral realizar uma estimativa das perdas de solo por erosão, para avaliar o grau de degradação existente na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas, utilizando técnicas de Geoprocessamento.

Os objetivos específicos foram:

1) Analisar os principais processos erosivos presentes na bacia em estudo;

2) Mapear e quantificar as áreas que apresentem potencial erosivo na bacia em estudo;

3) Classificar as terras de acordo com o Sistema de Subclasses de Capacidade de Uso;

4) Propor soluções que orientem o manejo racional, no estudo do solo e a obtenção de subsídios que auxiliem na recuperação e manutenção das áreas que possam ter processos erosivos ou que tendem a ter maiores riscos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia hidrográfica como unidade de estudo

Segundo Garcia (2011) no território brasileiro, a unidade física abordada na legislação nacional para o manejo e gerenciamento dos recursos hídricos é a de bacia hidrográfica, que constitui um princípio básico para a implementação da gestão dos recursos hídricos desde o nível regional, nacional e até mesmo em outros países.

De acordo com a legislação vigente da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também conhecida como Lei das Águas, a bacia hidrográfica fica definida como a unidade territorial de gerenciamento dos recursos hídricos, para implementação da

Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A compreensão e o entendimento do sistema hídrico como um todo, bem como o seu comportamento, além do desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos, levando-se em consideração as relações antrópicas, econômicas e socioambientais, têm um caráter relevante para estudos de sustentabilidade no meio (ROCHA et al., 2014).

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

Segundo Lima e Zakia (2004), as bacias hidrográficas podem ser consideradas como sistemas naturais e abertos que recebem energia de agentes externos, como os fatores climáticos e dissipam o excesso dessa energia por meio do deflúvio, sendo descritas como variáveis independentes, que podem variar em padrões, portanto, mesmo se perturbadas por outros agentes, como intervenções antrópicas, acabam encontrando-se em equilíbrio dinâmico.

Segundo Tagliarini et al. (2015) a água que é captada das chuvas no domínio da bacia hidrográfica possui dois caminhos, ou infiltra no solo dando origem aos lençóis freáticos e nascentes nos seus pontos de afloramento, ou escoa superficialmente para um canal principal e seus afluentes ou tributários, formando rios e córregos, que possuem como porção final sua foz ou exutório. Cada bacia apresenta características distintas, delimitadas por divisores de água topográficos e freáticos que as separam das bacias adjacentes. As águas oriundas de uma bacia hidrográfica deságuam no mar e as provenientes de sub-bacias e microbacias hidrográficas por sua vez deságuam em outros rios.

Para Vasco et al. (2011), a bacia hidrográfica é uma unidade de ocorrência natural com grandeza biótica e abiótica, que interage com os fatores edafoclimáticos presentes no meio, configurando os biomas, as formações geológicas e as mudanças no microclima do ambiente. O estudo em bacias hidrográficas sejam elas

urbanas ou rurais é de grande importância quando busca-se um equilíbrio entre a exploração de recursos naturais e a sustentabilidade da área.

Em unidades naturais, como as bacias hidrográficas, os recursos hídricos são de grande magnitude, pois podem ser indicadores das condições dos ambientes naturais em relação aos efeitos das interações entre seus próprios componentes. Por esses motivos, as bacias hidrográficas foram consolidadas como unidades geográficas de planejamento e manejo do uso e ocupação do solo, visando o desenvolvimento sustentável, ou seja, um equilíbrio entre as atividades econômicas com a preservação do ambiente (SOUZA; FERNANDES, 2000).

Na literatura há diversos autores que defendem o conceito de que a bacia hidrográfica seja a unidade ideal para o planejamento e manejo dos seus recursos naturais (MENEZES, 2001). A bacia hidrográfica pode ser considerada como uma unidade ideal de manejo, pois seus limites são considerados como imutáveis no que tange o seu planejamento, o que facilita o acompanhamento de alterações naturais ou antrópicas que possam ocorrer dentro de seu limite.

As bacias hidrográficas são um importante instrumento para o planejamento e gestão, os processos relativos à interação entre o homem e o meio que o cerca estão de alguma maneira relacionados com a hidrologia, representando em um objeto de grande interesse ligado ao gerenciamento de recursos hídricos (ROSS; DEL PRETTE, 1998).

A bacia hidrográfica, dentro da ótica integral do sistema, deve ser uma unidade de análise, caracterização, diagnóstico, planejamento, gestão e zoneamento ambiental, prezando pela sustentabilidade do meio, pois os impactos causados nesse podem ser analisados e corrigidos mais facilmente. Garcia (2011), afirma que o planejamento dos recursos hídricos pode ser considerado como um instrumento chave no gerenciamento do mesmo e pode até amenizar problemas relacionados com a demanda hídrica.

2.2 Processo erosivo do solo

O solo não é apenas um substrato inerte e homogêneo onde as plantas crescem, com se imagina, nele ocorrem reações e interações físicas, químicas e biológicas, com a presença organismos. Segundo Vasquez e Winck (2014), o solo pode ser considerado como um organismo vivo e heterogêneo em vários sentidos e também multidimensional, relacionando-se diretamente com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera, formando uma rede intrínseca de processos com trocas de matéria e energia.

Ainda, o solo não é permanente e muito menos absoluto, a ação do tempo mostra-se claramente na modificação da paisagem ao longo dos anos (VASQUEZ; WINCK, 2014). O processo erosivo solo é um importante fator dentro da dinâmica da paisagem, mas que em excesso e principalmente, por ação antrópica, pode causar danos significativos e severos ao meio ambiente.

Naturalmente o processo erosivo do solo consiste no desprendimento de partículas de solo e de rochas – individuais ou em agregados – devido à ação da água (erosão hídrica) e dos ventos (erosão eólica), que acarreta no transporte das partículas do local de origem para outro, acarretando em um processo de sedimentação, sendo uma das principais responsáveis pela degradação das terras agricultáveis. No Brasil, há uma predominância maior com relação a erosão hídrica, principalmente devido à localização entre os trópicos e dos tipos climáticos predominantes, caracterizados pelos elevados índices pluviométricos (DEMARCHI, 2012).

De acordo com Cogo e Bertol (1998) a erosão é significante da realização de um trabalho, pois quando uma força, por exemplo, gotas de chuva ou a enxurrada agem sobre uma resistência, no caso o solo, ocorre o movimento de um corpo, que no caso são as partículas do solo. De uma maneira simplificada, a erosão pode ser definida como sendo o desgaste da superfície do solo, transporte e deposição das partículas de solo, causada pela ação dos agentes erosivos ou intempéricos, principalmente a água e a chuva em condições tropicais.

Os tipos mais comuns de erosões são: laminar ou entressulcos, onde ocorre uma perda da camada superficial do solo, sem grandes afloramentos; sulcos ou ravinas, onde já ocorre uma perda mais saliente de solo em formas de sulcos que se assemelham a canais; e voçoroca ou boçoroca, que é o grau mais severo de erosão, onde a perda de solo é grande chegando ao nível do lençol freático, causando o afloramento do mesmo e o acúmulo de água no interior da cratera formada pela erosão.

Os fatores condicionantes que podem acelerar e/ou agravar o processo erosivo causados por meio da interferência do homem no meio são: a retirada da vegetação nativa de ocorrência natural para a implantação de sistemas agrossilvipastoris, o manejo e incorreto dos solos, a exploração inadequada das terras marginais, a pressão de ocupação por usos competitivos, o uso intensivo de solo em áreas com elevado potencial natural de erosão e a falta de planejamento na ocupação inicial do solo (WEILL; PIRES NETO, 2007). Ou seja, mesmo sendo um fenômeno de ocorrência natural, a ação do homem intervindo no meio, principalmente sobre a vegetação e o solo, pode facilitar a ocorrência do processo de forma demasiada, levando a perdas que podem ser significantes.

Dentre as problemáticas que o processo erosivo pode acarretar no ambiente agrícola, Guerra (2005) destacou problemas como a redução da fertilidade natural do solo, a formação de processos mais agudos como as ravinas e voçorocas, a deterioração e consequentemente a perda de áreas agricultáveis, o assoreamento de rios e lagos pela deposição de material erodido por partículas de solo transportadas pela água em áreas agrícolas, a acentuação dos efeitos de inundações e uma ampla gama de impactos ambientais, como a poluição oriunda de compostos químicos provenientes da agricultura – principalmente pesticidas – e vários nutrientes oriundos dos sedimentos de solo, que podem tanto poluir no seu próprio local de aplicação e origem quanto em ambientes vizinhos e mais frágeis.

De acordo com Vasquez e Winck (2014), a predição das perdas de solo por erosão de forma quantitativa, é uma ferramenta de grande utilidade e importância para a elaboração de planos conservacionistas e consequentemente as práticas a serem utilizadas no combate e prevenção da erosão, utilizando de dados como: tipo de solo, condições de uso e manejo, declividade e regime pluviométrico. Uma vez

instalado o processo erosivo, sua contenção pode ser alcançada, porém é de vital importância conhecer suas perdas e comportamento para que assim seja possível retornar o ambiente ao seu estado de equilíbrio inicial.

2.3 Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)

Existem vários modelos matemáticos que buscam a quantificação das perdas de solo por erosões, dentre eles destaca-se a Equação Universal de Perda de Solo. Segundo Demarchi (2012), a USLE foi desenvolvida no *National Runoff and Soil Loss Data Center* em 1954 pelo *Agricultural Research Service* em cooperação com a Universidade de Purdue, nos Estados Unidos, a partir da adaptação de algumas equações desenvolvidas na década de 1940 para as condições dos solos dos EUA. Foram realizados aperfeiçoamentos no modelo por Wischmeier e Smith, publicados no "*Agriculture Handbook* 537", no ano de 1978, o qual se tornou seu texto básico (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009).

Pesquisas referentes a quantificação de erosões continuaram a ser realizadas com a intensão de melhorar as estimativas de perdas de solo, resultando no desenvolvimento do modelo da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). Este modelo, desenvolvido por Renard et al. (1997) publicado no "*Agriculture Handbook* 703", manteve a estrutura original do modelo da USLE, mas modificou as metodologias de determinação dos fatores que a compõe. Tanto a USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978) como a RUSLE (RENARD et al., 1997) são expressas pela Equação 1.

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

Onde: *A* é a perda média anual de solo por erosão por unidade de área e de tempo (t/ha/ano); *R* é o Fator Erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h); *K* é o Fator Erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm); *L* é o Fator Comprimento de rampa (adimensional); *S* é o Fator Declividade (adimensional); *C* é Fator Uso e Manejo do solo (adimensional); *P* é o Fator Práticas Conservacionistas (adimensional).

Os fatores relacionados ao ambiente físico (abióticos) que interferem no processo erosivo do solo são: R, K e LS, que constituem o denominado Potencial

Natural de Erosão (PNE). Ou seja, eles correspondem às perdas de solo em áreas sem a presença de cobertura vegetal e sem a intervenção do homem (VALÉRIO FILHO, 1994). Os fatores C e P, constituem nos componentes antrópicos da RUSLE, podendo ser manejado de modo a ampliar a proteção do solo contra a erosão (DEMARCHI, 2012).

2.3.1 Fator R (Erosividade da chuva)

Parte da energia envolvida no momento do impacto de uma gota de chuva com o solo é transferida ao mesmo, fornecendo energia para que o processo erosivo ocorra, sendo assim, as águas da chuva são parte importante e ativa no processo de erosão do solo (VASQUEZ; WINCK, 2014).

Um dos fatores climáticos de maior importância no processo erosivo do solo é a precipitação atmosférica, pois o volume e a velocidade da enxurrada causada pela precipitação irão depender diretamente da intensidade, duração e frequência das chuvas (SILVA, 2008).

O Fator Erosividade (R) consiste na capacidade natural das chuvas em causar o desprendimento de partículas de solo em ambiente sem a proteção do mesmo. Bertoni e Lombardi Neto (2005) estudaram os índices de Erosividade e consideraram que estes são diretamente proporcionais ao valor do produto das seguintes características da chuva: energia cinética total e intensidade máxima em 30 minutos, esta última como o melhor que se adéqua a realidade tropical.

Este fator é dependente diretamente da intensidade de precipitação, sendo considerado o número de unidades de índice de erosão, mais um fator relacionado para o escoamento da água, quando o escoamento é mais significativo (WISHMEIR; SMITH, 1978).

O Fator R inicia-se no exato momento da desagregação do solo, ou seja, a desconfiguração dos agregados que compõem a estrutura íntima do solo, causada pelo impacto direto das gotas de chuva na superfície descoberta, dada sua energia cinética, que promove a anulação das forças que mantinham unidos os agregados

anteriormente estáveis. Dessa forma, os diferentes constituintes dos agregados de solo ficam dispersos por possuírem menor massa, são mais facilmente passíveis de remoção da sua superfície original (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Dependendo das características físicas da chuva como intensidade, tamanho e velocidade das gotas, a capacidade da mesma em provocar erosão é maior ou menor. Estas características das gotas de chuva é que definem a energia cinética no momento do impacto contra o solo. Outras características relacionadas às chuvas como a duração e a frequência também são importantes na definição do potencial de erosão provocado pelas chuvas em dada localidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A distribuição das chuvas ao longo do ano e os meses de maiores picos de intensidade pluviométrica variam de cada região analisada. De acordo com Costa (2014) nos meses em que ocorrem os mais altos índices coincidem normalmente com os de chuvas de maior intensidade, por outro lado, a escassez de registros sobre a pluviometria leva ao desenvolvimento de equações que correlacionam os índices de Erosividade com a precipitação total, mensal ou até mesmo a precipitação erosiva diária. Porém, a correlação entre a precipitação total e o índice de Erosividade das chuvas é baixa (HUDSON, 1977).

2.3.2 Fator K (Erodibilidade do solo)

O Fator Erodibilidade (K) consiste na capacidade ou potencial natural que o próprio solo possui em ser degradado. Ou seja, suscetível ao processo erosivo, em que a perda ocorre na quantidade de material removido por unidade de área, quando os demais fatores que intervém no processo são mantidos constantes (MACEDO; RUDDORF, 2000).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005) o Fator K está diretamente relacionado com as propriedades físicas do solo, tais como: velocidade de infiltração da água do deflúvio; permeabilidade e capacidade de retenção de água; resistência às forças de dispersão, abrasão, salpicamento e transporte provocado pelas chuvas e o escoamento superficial. Essas características, segundo os mesmos autores, por

sua vez, são influenciadas pela textura, teor de matéria orgânica e a estrutura do solo. No Brasil, a grande maioria dos tipos de solos já possuem seus valores de K determinados com as características de cada localidade, sendo esses valores geralmente expressos em t.h/MJ.mm ou mg.h/MJ.mm.

Vasquez e Winck (2014) afirmam que solos com alto teor de argila (argilosos) possuem valores para o Fator K considerados muito baixos, na ordem de 0,05 a 0,15 t.h/MJ.mm, pois estes tipos de solos são mais resistentes ao desprendimento quando sofrem os impactos das gotas de chuva. Os solos arenosos, que possuem textura mais grosseira, segundo os mesmos autores, ainda que sejam mais facilmente desprendidos quando sofrem impacto das gotas de chuva, não são facilmente transportados, o que também lhe proporciona valores baixos do Fator K, variando na ordem de 0,05 a 0,20 t.h/MJ.mm.

De acordo com Vasquez e Winck (2014) os solos que possuem textura média, ou seja, um equilíbrio entre as frações de argila, areia e silte, são os que possuem valores baixos e médios de Fator K, de 0,10 a 0,25 t.h/MJ.mm e 0,25 a 0,35 t.h/MJ.mm, respectivamente. Já os solos siltosos, segundo os mesmos autores, são os que possuem maior valor de erodibilidade, com valores de Fator K variando na faixa de 0,35 a 0,50 t.h/MJ.mm, pois suas partículas se desprendem mais facilmente quando sofrem o impacto das gotas de chuva e também são mais facilmente carregadas pelo deflúvio que se forma.

2.3.3 Fator LS (Comprimento de rampa e Declividade)

A intensidade do processo erosivo sofre grande influência do comprimento de rampa ou de declive – conhecido como Fator L – que corresponde ao efeito do comprimento de rampa na erosão do solo. Ainda no que tange a topografia de dada área, a inclinação do terreno – Fator S – também possui grande influência e relaciona-se diretamente com a dinâmica do processo erosivo.

Os Fatores L e S são de grande importância, pois consistem na distância percorrida por uma gota de chuva, ao longo do perfil topográfico – em um fluxo descendente seguindo a declividade – desde que se inicia o escoamento superficial,

até que ocorra sua concentração no ponto mais baixo do terreno, ou em um canal ou que ocorra a deposição de partículas de solo carreadas pelo escoamento superficial por sedimentação (VASQUEZ; WINCK, 2014).

Geralmente, associa-se a erosão do solo, quase que unicamente com relação à inclinação do terreno, portanto, com a sua declividade, poucos são os autores que se preocupam com a influência do comprimento de rampa (SILVA, 2008). Para salientar a importância desse fator, Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que um terreno com 20 metros de comprimento e 20 % de declividade pode ter a mesma perda de solo que outro terreno com 180 metros de comprimento com apenas 1 % de declividade.

Desta forma, fica evidenciada a importância de se avaliar conjuntamente os Fatores L e S, pois, de acordo com Silva (2008), à medida que o caminho percorrido aumenta, não somente o volume de água aumenta como também, a velocidade de escoamento aumenta de forma progressiva. Portanto, quanto maior for o comprimento da rampa, maior será a enxurrada acumulada, com maior energia cinética, resultando em potencial à erosão do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Esses dois fatores são encontrados e calculados separadamente, porém para uma aplicação mais prática do modelo da RUSLE, são considerados conjuntamente como um fator topográfico denominado LS (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). As medidas correspondentes ao Fator LS podem ser obtidas via mapas com indicação topográfica, por modelos digitais de elevação do terreno (MDE), ou diretamente a campo onde os resultados obtidos apresentam uma acurácia maior (VASQUEZ; WINCK, 2014).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) determinaram que o Fator LS corresponde a correlação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação as perdas de solo correspondentes a uma parcela unitária de 25 m de comprimento com uma declividade de 9 %.

Já para Renard et al. (1997), o Fator LS no modelo da RUSLE representa as perdas de solo em um dado comprimento de rampa e dada declividade em relação às perdas de solo de uma encosta com comprimento de 22,1 m e declividade de 9

%, onde as demais condições de avaliação são consideradas constantes. Os valores de LS não são absolutos, porém são referidos como 1,0 em terrenos com presença de declive de 9 % e rampa de 22,1 m de comprimento.

2.3.4 Fator C (Uso e Ocupação do solo)

O fator uso e ocupação do solo (C) consiste na cobertura ou não cobertura do solo por tipos de vegetações ou construções e bem feitorias e é utilizado para refletir e caracterizar o efeito que cada forma de uso ou ocupação possui sobre o processo de erosão do solo.

Segundo Wischmeier e Smith (1978) o Fator C corresponde às taxas de perdas de solo de uma área de cultivo com certas condições e a perda de solo em outra área considerada de referência, mantida com o solo preparado e sem qualquer tipo de cobertura de origem vegetal. Esse fator também indica como o plano de conservação poderá afetar as perdas médias de solo anual e como o potencial de perdas de solo será distribuído ao longo do tempo, principalmente nas atividades agrícolas (VASQUEZ; WINCK, 2014).

A cobertura vegetal está intimamente relacionada ao Fator C e corresponde a qualquer tipo de vegetação presente no solo, sejam florestas naturais ou plantadas, pastagens, culturas anuais, culturas perenes, áreas de pousio, cidades e áreas construídas, entre outros de usos e ocupações que o solo possa ter. A cobertura vegetal presente ou ausente no solo é um aspecto de grande relevância como fator que influencia o processo erosivo, pois um solo sem ou com pouca cobertura vegetativa, possibilita maiores índices de processos erosivos (SILVA, 2008).

A cobertura de um solo, não se limita apenas ao recobrimento com cobertura vegetativa, outras formas como fragmentos de rocha ou resíduos vegetais também estão inclusos, desde que não possam ser carregados pelo escoamento superficial, é importante ressaltar também que a rugosidade do solo, efeito da cobertura vegetal do solo, também é parte integrante dos conceitos do Fator C, manifestando-se através da rugosidade do terreno (VASQUEZ; WINCK, 2014).

O cultivo sobre o solo promove a diminuição nas perdas por erosão em razão da proteção que é dada pela cultura. Porém, esta diminuição irá depender muito das combinações de cobertura vegetal como: florestas, campos, serrapilheira, entre outros; sequência de culturas e práticas de manejo; além do estádio de desenvolvimento da cultura, essas características influenciam na interceptação do impacto das gotas de chuva, diminuindo a energia cinética, assim evitando o salpicamento do solo além do escoamento superficial durante o período das chuvas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) aplicaram o método proposto por Wischmeier e Smith (1978) para a determinação do Fator C em certas culturas e determinados manejos mais utilizados no Brasil, onde foram estabelecidos os coeficientes de perdas de solo para cada período de desenvolvimento de diversos tipos de culturas, as quais foram avaliadas conjuntamente com o índice de erosão (EI) de cada estádio de desenvolvimento para a obtenção do fator de uso e manejo anual do local de estudo.

A metodologia empregada para a determinação do Fator C da RUSLE é bem diferente do que é empregada na USLE. A razão média das perdas de solo para certa condição de uso e manejo do solo é resultante da multiplicação dos fatores de uso do solo, cobertura do solo pelo dossel da cultura, cobertura da superfície do solo por resíduos e vestígios de colheita, além da rugosidade da superfície do solo e a umidade presente no mesmo. O Fator C anual então é calculado pelo produto de cada razão média das perdas de solo pelo índice de erosão correspondente, somatória dos produtos e divisão pelo índice de erosão anual (RENARD et al., 1997).

Com relação aos valores que o Fator C pode receber, o padrão é para solos descobertos o valor de C ser igual a 1,0, a este valor relaciona-se os demais, dessa forma, quanto maior for a cobertura, principalmente por vegetação, menor será o valor de C, mostrando que práticas conservacionistas de caráter vegetativo podem reduzir significativamente o processo de erosão do solo, por exemplo, um fator C de 0,20 significa que a erosão será reduzida a 20 % daquela esperada para a mesma área de avaliação, caso esta estivesse descoberta ou em pousio (VASQUEZ; WINCK, 2014).

2.3.5 Fator P (Práticas conservacionistas)

O fator práticas conservacionistas (P) representa o efeito dessas práticas e refere-se especialmente à energia cinética presente na enxurrada. O Fator P está intimamente relacionado com as práticas de caráter conservacionistas para a proteção dos solos, adotadas no sistema produtivo e seguindo a declividade do terreno, são exemplos de práticas conservacionistas: plantio em nível, plantio em faixas, terraceamanto, cordões de vegetação, cobertura morta, entre outras (VASQUEZ; WINCK, 2014).

Este fator expressa a relação existente entre a perda de solo com determinada prática de conservação e a perda de solo correspondente quando uma dada cultura está implantada no sentido do declive do terreno, conhecido popularmente como plantio morro abaixo (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009). Semelhante ao que se encontra para o Fator C, o Fator P possui como valor mais alto 1,0, que representa o pior cenário, sem a presença de práticas de conservação do solo, e a utilização de medidas e práticas de controle à erosão implica em valores menores de P.

A combinação de determinadas culturas com as práticas de caráter conservacionistas é de vital importância para a proteção do solo, pois existem tipos de vegetais que tornam o solo mais suscetível à erosão que outros. Por exemplo, segundo Silva (2008) solos com culturas anuais, como: milho, algodão e soja, estão mais expostos à erosão que solos cultivados com plantas perenes ou semi-perenes, como: café, cana-de-açúcar, laranja entre outras, pois nos primeiros há um maior revolvimento do solo para o plantio, além do preparo ser anual, o que necessita do emprego de práticas de conservação para minimizar eventuais perdas por erosão. Dessa forma, fica nítido o quanto os Fatores C e P são próximos.

De acordo com Vasquez e Winck (2014) por meio da utilização do modelo da RUSLE, fica evidente que os valores de perdas anuais de solos variam em função do manejo empregado e das práticas de conservação ou até mesmo com o crescimento da vegetação, o que proporciona um aumento na rugosidade do terreno, melhor incorporação da matéria orgânica, o que melhora a agregação do solo. Fica dessa forma evidenciada a importância das práticas de manejo e que

sejam adequadas a situação e tomadas para a proteção dos solos e dos recursos hídricos.

2.3.6 Vantagens e desvantagens na aplicação de modelos

A palavra modelo possui muitas nuanças em seu significado, pois de acordo com o que se está analisando, ou o objeto de estudo do pesquisador pode ser definido seguindo certas características específicas (SILVA, 2008). De acordo com Christofoletti (1999) um modelo pode ser interpretado como uma representação simplificada da realidade, ou de um aspecto real que se possua interesse de estudo, em reconstruir a realidade, prever um dado comportamento, uma dada transformação ou até mesmo uma evolução.

A modelagem do processo erosivo do solo consiste na análise matemática da desagregação, transporte e deposição das partículas superficiais do solo. Segundo (SILVA, 2008) ao se modelar as perdas de solos, são três os objetivos procurados: avaliar a perda de solos para o planejamento conservacionista e inventários de erosão dos solos; prever onde e quando a erosão ocorrerá, auxiliando dessa forma no planejamento de práticas com caráter conservacionista que reduzam o processo erosivo; e compreender os processos de erosão e suas interações, a fim de determinar as prioridades em pesquisas.

A USLE e a RUSLE constituem em modelos empíricos de predição dos processos erosivos, esses modelos são considerados mais simples, sendo baseados primeiramente nas análises realizadas por observação, a fim de representar as respostas dos dados observados. Porém, a demanda por *softwares* computacionais mais robustos é menor tanto na USLE quanto na RUSLE comparadas as de outros modelos, sejam eles de base conceitual ou física (MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003).

Os modelos empíricos são bastante contestados por utilizarem suposições que em alguns casos podem ser consideradas como sendo irreais sobre os aspectos físicos de um sistema como uma bacia hidrográfica, ignorando a heterogeneidade de certas características, também são criticados por serem

considerados estacionários, ou seja, parâmetros que permanecem inalterados ou constantes durante o período de estudo (DEMARCHI, 2012). Porém, esses modelos merecem destaque e são frequentemente mais utilizados que em relação aos mais complexos, pois podem ser utilizados em locais com disponibilidade mais restrita em relação a dados, em áreas que não se possui um banco de dados e registros históricos, além de necessitarem de uma quantidade menor de variáveis para a realização das análises (MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003).

As principais debilidades que o modelo da USLE possui são: a não identificação do local final de deposição dos sedimentos erodidos e a incapacidade de modelar perdas de solo por processos mais agudos como no caso das voçorocas ou boçorocas (ALCÂNTARA; SOUZA, 2010). Araújo, Almeida e Guerra (2010) destacam também como pontos negativos da USLE, a sua base empírica além da sua estimativa da perda de solo anual, que desconsidera eventos climáticos não lineares, os quais podem provocar taxas de erosão além da expectativa esperada.

O modelo da RUSLE consiste na estimativa da perda anual média de solo, provocada principalmente pela erosão laminar e a erosão em sulcos, semelhantemente ao que é encontrado na USLE, mas possui como diferença, a vantagem de poder estimar a perda de solo em locais onde a USLE não poderia ser aplicada. A sua implantação computacional possibilita a entrada de conceitos de ordem física para a determinação de alguns de seus componentes, dessa forma, favorecendo uma simulação mais realista do meio como um todo, tornando mais dinâmico o processo de estimativa das perdas de solos, constituindo de uma ferramenta fácil acesso para o planejamento da ocupação, manejo e conservação do solo (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009).

Ainda segundo esses mesmos autores, essa modelagem ainda possui grandes restrições, como a sua base empírica, que limita sua aplicabilidade em condições edafoclimáticas diferentes daquelas pré-estabelecidas pelo modelo e semelhante à USLE, a não consideração do processo de deposição/sedimentação final do material erodido, que limita sua aplicação em certas áreas onde este processo tem uma importância mais significativa.

2.4 Aptidão agrícola e capacidade de uso do solo

Lepsch et al. (1991), definem a capacidade de uso do solo como uma classificação técnico-interpretativa, que representa um grupamento qualitativo dos tipos de solo em função de determinadas características de interesse para certas finalidades, visando à máxima capacidade de uso sem o risco de degradação do solo, especialmente por processos erosivos que ocorram de forma acelerada.

O sistema de classificação de terras por capacidade de uso, segundo Lepsch et al. (1991), foi elaborado para atender o planejamento e manejo de práticas de conservação do solo. A capacidade de uso do solo visa selecionar as técnicas de uso da terra mais adequadas e adaptadas para uma dada área, de forma que não haja degradação ambiental e que aqueles os solos permaneçam estáveis, quanto à sua estrutura original, sem a diminuição de sua capacidade produtiva natural. A capacidade de uso ainda visa também o aproveitamento do solo com o mínimo de perdas possíveis, baseando-se em fatores que possam influenciar a estruturação e composição deste, tais como: relevo, erosão, solo, clima, entre outros; tornando-se assim mais confiáveis as bases para o planejamento, gestão e manejo de terras de forma racional e sustentável (TAGLIARINI; RODRIGUES; SILVEIRA, 2015).

O sistema de capacidade de uso proposto por Lepsch et al. (1991) é organizado da seguinte maneira:

- Grupos de capacidade de uso: São estabelecidos nos tipos de intensidade de uso de terras. E são representados por letras maiúsculas, exemplo: A, B e C;

- Classes de capacidade de uso: São baseadas nos graus de limitação que se pode ter em relação a um dado uso. Representadas por números romanos que variam de I a VIII;

- Subclasses de capacidade de uso: São baseadas nas limitações que dado uso ou ocupação possa ter. Essas classes são representadas por letras minúsculas seguidas da classe de capacidade de uso, por exemplo, Ia, IIIs, Vc, etc. E são divididas em quatro tipos: a - limitação por água em excesso no solo; c - limitação de ordem climática; e - limitação por presença ou risco de erosão; s - limitações relativas ao próprio solo.

No Grupo A têm-se as terras que são adequadas para o cultivo de culturas anuais, culturas perenes, pastagens, reflorestamentos e proteção a fauna e flora silvestres. No Grupo A, dentro do que propõe Lepsch et al. (1991), tem-se as classes de I a IV.

- Classe I: Terras que são cultiváveis e sem problemas aparentes de conservação do solo;

- Classe II: Terras que são cultiváveis, porém com problemas simples de conservação e manutenção do solo;

- Classe III: Terras que são cultiváveis, porém com problemas complexos de conservação e manutenção do solo;

- Classe IV: Terras que são cultiváveis, porém apenas ocasionalmente e com problemas severos de conservação do solo.

Dentro do Grupo B, são classificadas as terras impróprias para cultivos de forma intensiva como as culturas anuais, sendo mais recomendado para este grupo pastagens, reflorestamentos e proteção a fauna e flora silvestres. No Grupo B, ocorre as classes de V a VII.

- Classe V: Terras propensas a pastagens e reflorestamentos, sem a necessidade de práticas mais avançadas de conservação;

- Classe VI: Terras propensas a pastagens e reflorestamentos, porém com problemas simples de conservação do solo;

- Classe VII: Terras propensas apenas a pastagens ou reflorestamentos, porém com problemas complexos de conservação do solo e necessidade de práticas mais avançadas de proteção.

Por fim, no Grupo C têm-se as terras que não são classificadas para usos que visam à exploração de recursos e sim atividades voltadas exclusivamente à manutenção e proteção de flora e fauna silvestres. No Grupo C ocorre a classe VII.

- Classe VIII: Terras que não são propensas a agricultura de uma forma geral, por terem problemas complexos de conservação e impedimentos para sua utilização que não seja para a manutenção da vida silvestre.

Já as subclasses de capacidade de uso e as limitações que cada divisão podem ter, são observados na Tabela 1, conforme Lepsch et al. (1991).

Tabela 1 - Subclasses de capacidade de uso do solo.

Subclasses e seus fatores limitantes			
a	**c**	**e**	**s**
Lençol freático elevado	Seca prolongada	Declive acentuado	Pouca profundidade
Risco de inundação	Geada	Declive longo	Textura arenosa em todo o perfil
Subsistência em solos orgânicos	Ventos intensos	Mudança textural abrupta	Pedregosidade
Deficiência de oxigênio no solo	Granizo	Erosão laminar	Argilas expansivas
-	Neve	Erosão em sulcos	Baixa CTC
-	-	Erosão em voçorocas	Baixa saturação por bases
-	-	Erosão eólica	Toxidade por alumínio
-	-	Sedimentação	Toxidade por sódio
-	-	Permeabilidade baixa	Excesso de sais solúveis
-	-	Horizonte A arenoso	Excesso de carbonatos

Fonte: Lepsch et al. (1991).

Onde: *a* é a limitação do solo por excesso de água; *c* é a limitação de ordem climática; *e* é a limitação por presença ou risco de erosão; e *s* é a limitação relativa ao próprio solo.

No Brasil para a classificação de terras, além do Sistema de capacidade de uso da terra, tem-se o Sistema de aptidão agrícola de terras. Motta et al. (1993) descreveram aptidão agrícola como sendo uma classificação técnica realizada a partir de mapas pedológicos, visando orientar a utilização mais adequada da terra,

de acordo com sua capacidade natural, levando em consideração tanto a viabilidade agronômica das atividades agrícolas envolvidas no meio em relação às características das terras, quanto os riscos de degradação do meio ambiente provenientes desta exploração, constituindo de uma ferramenta importante ao planejamento agrícola.

O sistema de classificação da capacidade de uso das terras em relação ao de Aptidão Agrícola, é mais simples, considerando apenas um nível de manejo e as classes, mais em função da susceptibilidade à erosão e indicação de práticas conservacionistas, do que pela facilidade de cultivo e/ou razão custo/benefício. É mais adaptável também para interpretação de levantamentos pedológicos em grandes escalas, especialmente para propriedades agrícolas ou bacias hidrográficas. O sistema de capacidade de uso apresenta como desvantagem, considerar unicamente o nível de manejo elevado, contudo apresenta vantagem de indicar práticas de conservação do solo dentro das terras próprias para lavouras, e a de discriminar aquelas mais adaptáveis para cultivos anuais daquelas para cultivos perenes (LEPSCH et al., 1991).

A maneira de se avaliar ou classificar as terras agrícolas pode ser agrupada em uma fração física que abrange certas características da área, representadas por levantamentos de solo, clima, hidrologia, vegetação, entre outros, e uma fração voltada para as características socioeconômica, que envolve aspectos relacionados ao trabalho e ao mercado. A forma de segregar as mais diferentes unidades de solo umas das outras, concretiza-se basicamente nestas diferenças, sendo a distinção delas feita por meio da qualificação das problemáticas existentes em cada uma, além de estimativa da conveniência e viabilidade de suas relações (RESENDE, 1982).

O diagnóstico para à adequação das terras agrícolas de uma dada localidade envolve toda uma caracterização do meio ambiente físico, representando principalmente pelo uso e ocupação atual do solo e a determinação da capacidade de uso das terras, sendo que com esses dados é possível identificar a existência de compatibilidades entre a capacidade de uso e a ocupação atual que o solo possui, além identificar áreas agricultáveis que possam estar causando prejuízo potencial ao meio ambiente, que seriam as áreas denominadas acima da capacidade de uso, e

as subtilizadas sendo caracterizadas como aquelas abaixo da capacidade de uso e ocupação do solo (MURAMOTO et al., 1993).

2.5 Geomática e Geoprocessamento

Dentro do contexto da análise e planejamento do meio ambiente, a representação do meio de forma natural e com todos os seus componentes, processos e interações, apresenta-se como uma tarefa com relativa complexidade, com isso, a modelagem de ambientes e fenômenos sempre exigirá certo grau de simplificação, ou de abstração, para que assim o meio ambiente possa ser entendido e simulado, utilizando-se de expressões matemáticas para fazê-lo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Dessa forma, para auxiliar no processo de modelagem do mundo físico, gerando aplicações práticas, surge então a Geomática ou Geoprocessamento. A Geomática consiste na arte ou ciência que se utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para realizar a análise e o estudo de informações de origens geográficas, ou seja, informações com temáticas “amarradas” à superfície terrestre, por meio da adoção de um sistema de coordenadas (ROSA, 2009). Ainda segundo o mesmo autor, no Brasil, os termos Geomática e Geoprocessamento se referem à mesma ciência, ou seja, o Geoprocessamento é utilizado como sendo um sinônimo da Geomática, sendo o primeiro termo mais amplamente utilizado.

A Geomática ou Geoprocessamento então consiste em um campo de atividades que interage com todos os meios utilizados para a aquisição, armazenagem, análise, apresentação, distribuição e gerenciamento de dados espaciais, que podem ser usados para tomadas de decisão nas áreas técnicas, administrativas, legais e científicas, mesmo sendo um termo relativamente novo, representa a evolução dos campos de levantamento e do mapeamento do meio físico (SILVEIRA, 2016).

De acordo com Chuerubim et al. (2014) em seus estudos, observaram que a Geomática possibilita ao indivíduo processar e manipular dados e informações tanto qualitativas quanto quantitativas de diversas áreas do conhecimento agrupadas em

uma única plataforma de dados, possibilitando a geração de novas informações, conhecimentos e produtos para os mais diversos fins e aplicações.

Nas últimas décadas, o Geoprocessamento tornou-se uma ferramenta de caráter indispensável para execução de projetos que visam à compreensão, estudo, modelagem e simulação do meio ambiente físico. Dessa forma, as grandes extensões de áreas que abrangem estes projetos fazem uso do Geoprocessamento, como sendo um principal elemento para o manuseio das grandes bases de dados envolvidos, sejam de caráter espacial ou não (PETERSEN et al. 1995).

O Geoprocessamento então pode ser considerado de forma mais simplificada, como sendo um conjunto de Geotecnologias, que por sua vez engloba o Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas (SIG), Cartografia, Topografia, Fotogrametria e Fotointerpretação, Bancos de dados geográficos e Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS). Ou seja, uma forma de tecnologia interdisciplinar, que de acordo com Rocha (2000) integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, dados e metodologias para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

2.5.1 Geotecnologias

Compreender e representar o espaço sempre foram grandes necessidades da humanidade, que o fez para as mais diversas finalidades e se utilizando das tecnologias disponíveis à sua época. Embora por muito tempo os conhecimentos acerca do espaço não foram sistematizados, pode-se afirmar que o homem sempre se valeu deste conhecimento em no seu cotidiano, seja na busca por melhores áreas para caça ou mesmo no atual uso das Geotecnologias como apoio à instalação de grandes indústrias e equipamentos diversos (RODRIGUES, 2015).

As Geotecnologias são representadas como novos tipos de tecnologias ligadas à área das Geociências e ciências correlatas, as quais trazem avanços importantes e significativos para o desenvolvimento de pesquisas, tomada de decisões em planejamentos, em processos de gestão e manejo, entre outros

aspectos principalmente aqueles relacionados à estrutura do espaço geográfico físico (FITZ, 2008).

Para Câmara (2010) o segmento referente as Geotecnologias é grande, diversificado e destacado das aplicações relacionadas a informática no Brasil, cuja gama de usuários é extensa e com presença em diversas áreas, desde concessionárias de telefonia, água e energia, prefeituras, empresas e instituições relacionadas à temática ambiental, e até em estudos censitários e de políticas públicas (CÂMARA, 2010).

A utilização das Geotecnologias, sobretudo na gestão de recursos naturais e no monitoramento ambiental têm recebido cada vez mais importância e atenção por parte de pesquisadores, empresas e gestores públicos. Esse ramo do Geoprocessamento assume papel importante nas áreas da cartografia, análise de recursos ambientais, transportes, comunicação, energia, planejamento urbano e rural (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Os princípios das Geotecnologias estão ancorados aos da sua ciência maior, no caso o Geoprocessamento e, portanto, baseiam-se na coleta, processamento e análise de informações referenciadas a um sistema de coordenadas. As Geotecnologias são compostas e quando são combinadas constituem uma poderosa ferramenta para tomada de decisão e avaliações, dentro dessa área também se destacam os SIGs, a Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, GPS, Geoestatística, entre outras ferramentas (ROSA, 2005).

De acordo com Pires et al. (2012), a utilização das Geotecnologias permite realizar um diagnóstico do ambiente de forma total e integrada, a fim de entender como questões relacionadas às alterações nas dinâmicas ambientais se comportam ao longo do tempo no espaço, sendo um dos pontos fortes dessa, possibilitando dessa maneira, que o ambiente seja estudado em parte, mas que seja compreendido como um todo.

Para um amplo domínio sobre as Geotecnologias é necessário além de conhecer, saber como utilizar de forma integrada todas as ferramentas e processos que estão disponíveis e pertencentes a essa, dessa forma, desenvolvendo metodologias de aplicação das mesmas no sentido de identificar, diagnosticar e

prognosticar riscos e potencialidades ambientais com relação ao melhor desenvolvimento sustentável (ROCHA, 2000).

Diversos trabalhos utilizando Geotecnologias têm sido desenvolvidos com a finalidade de determinar e quantificar as perdas de solo por erosões fazendo uso de modelos em ambiente de SIG, como por exemplo, Demarchi (2012) utilizou SIG para poder determinar as perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP. Já, Costa (2014) fez também uso das ferramentas para a determinação das perdas de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico-SP, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE).

O conceito de Geotecnologias é muito mais amplo do que se estabelece, não somente como sendo um mero instrumental para realização de mapeamentos, localizações pontuais, mas um conjunto de diversos fatores que levam a resultados almejados por diferentes tipos de profissionais, mas que no caso em questão, o objetivo principal é a análise do espaço geográfico e suas consequências (CASTANHO, 2006). A aplicação de forma prática das Geotecnologias tanto no espaço urbano quanto rural, passa a ser então um meio para o controle, conhecimento e coerência em relação ao uso e ocupação do solo nesses ambientes, tendo em vista a necessidade de realizar planejamentos cada vez mais amplos e sofisticados para o manejo e entendimento desses ambientes (CASTANHO; TEODORO, 2010).

Para Rodrigues (2015) por permitir a ponderação e gestão de grandes quantidades de dados georreferenciados, as Geotecnologias atuam como uma importante ferramenta tecnológica dentro do Geoprocessamento, no apoio ao desenvolvimento da agricultura e dos demais usos da terra, permitindo o tratamento de dados, gerando informações secundárias e permitindo a modelagem, simulação e previsão de cenários futuros.

2.5.2 Sensoriamento Remoto

A origem do Sensoriamento Remoto deriva-se do surgimento das primeiras fotografias aéreas, dessa forma, sua história pode ser dividida em dois períodos distintos: o primeiro, de 1860 a 1960, baseado no uso exclusivo de fotografias aéreas, e o segundo, de 1960 aos dias de hoje, caracterizado por uma gama de tipos de imagens orbitais e suborbitais obtidas por sensores ativos (GARCIA, 2014).

Segundo Novo (2008), o Sensoriamento Remoto pode então ser definido como sendo a utilização em conjunto de sensores, equipamentos para o processamento de dados e equipamentos para a transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, balões, veículos aéreos não tripulados (VANTs/Drones), espaçonaves, ou satélites artificiais orbitais com a finalidade de estudar fenômenos, eventos e processos que ocorrem na superfície da Terra.

O Sensoriamento Remoto fundamenta-se então em um processo de interação entre a radiação eletromagnética natural emitida pelo Sol, ou artificial emitida e captada por sensores ativos e embarcados em plataformas como satélites e VANTs/Drones, com diferentes objetos localizados na superfície terrestre, dessa forma, é possível obter-se então informações sobre um determinado alvo, sem entrar em contato direto com o mesmo.

Para Rodrigues, Rodrigues e Tagliarini (2014), os alvos observados são detentores de inúmeras feições e angulações na superfície terrestre, tanto em corpos de massa sólida quanto de massa líquida, como solos, rios, oceanos, e diferentes formas de vegetação e seus níveis de sanidade nos diversos tipos de ecossistemas, como em florestas, pastagens, lavouras (agroecossistemas) e em áreas urbanas ou antropisadas. O Sensoriamento Remoto passou a ser utilizado em grande escala durante as últimas décadas por permitir um rápido monitoramento, avaliação de importantes variáveis ambientais e de diversos fatores relacionados com atividades antrópicas (SHIMABUKURO; MAEDA; FORMAGGIO, 2015).

Dentro desse contexto, para Rosa (2009) a utilização e análise de produtos oriundos de Sensoriamento Remoto são de grande importância para a obtenção e atualização constante dos registros nas mudanças da cobertura da terra. Sendo o

emprego destes tipos de informações muito amplo dentro do planejamento e diagnóstico de impactos em relação ao meio ambiente, como no caso da identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, inventário de recursos naturais, entre outros.

Com relação aos sistemas de Sensoriamento Remoto disponíveis, as fotografias aéreas e as imagens de satélites orbitais são as ferramentas mais empregadas para o monitoramento do meio ambiente. Com a utilização de produtos oriundos do Sensoriamento Remoto, como por exemplo, a fotografia aérea pode-se obter dados suficientes para se estabelecer, juntamente com a utilização da USLE, índices hierárquicos de erosão do solo em diversos períodos. Os produtos de Sensoriamento Remoto orbital, possibilitam o uso constante de informações, tornando neste sentido, viável o monitoramento das áreas mais críticas e sujeitas a processos de degradação ambiental (SCOLPEL; ASSAD; ORIOLI, 1993).

Os produtos oriundos de Sensoriamento Remoto podem ser avaliados e analisados por meio de uma gama diversificada de técnicas, divididas em processamento analógico (visual) e digital de imagens. O processamento analógico faz utilização de elementos considerados como fundamentais na interpretação de imagens, como escala de cinza, tonalidade, coloração, profundidade, tamanho, forma, sombra, textura, localização, associação com aspectos do ambiente. As evidências obtidas a partir destes tipos de elementos se convergem para identificar fenômenos nas imagens e julgar a sua relevância, hoje com o advento da utilização de imagens com alta resolução, a interpretação visual realizada em computadores está em uso cada vez mais crescente (JENSEN, 2009).

Já o processamento digital de imagens ainda de acordo com Jensen (2009), consiste em uma grande quantidade de procedimentos analisados sobre as imagens de satélite e/ou aerofotografias, como o pré-processamento, o processamento fotogramétrico de imagens utilizando técnicas de estereoscopia, extração de informações paramétricas, não paramétricas e não métricas, modelagem de imagens em ambiente de SIG, georreferenciamento, entre outros.

Na utilização restrita de imagens de satélite, além das características multiespectrais e multitemporais das imagens, o especialista em Sensoriamento Remoto utiliza-se também elementos da fotointerpretação, tais como: forma,

sombreamento e textura, por exemplo, para distinguir as áreas irrigadas por sistema de pivô central de outros métodos de irrigação o analista baseia-se principalmente nas formas da superfície de molhamento (RODRIGUES, 2015).

De acordo com Rodrigues (2015), várias aplicações do Sensoriamento Remoto podem ser utilizadas no campo da agricultura e do meio ambiente, como na previsão de safras, mapeamento de culturas, definição de áreas de aptidão agrícola, zoneamento agroecológico, avaliações de perdas de solo, monitoramento de áreas com risco de incêndios florestais, entre outros. Na avaliação de perdas de solos em bacias hidrográficas, por exemplo, o Sensoriamento Remoto pode ser utilizado para: obtenção do fator topográfico e rampa do relevo, avaliação do uso e ocupação do solo, verificação das práticas de conservação dos solos e mapeamento dos solos existentes na área.

2.5.3 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), traduzido do acrônimo original em inglês *Geographic Information System* (GIS) são um conjunto de ferramentas oriundas de um hardware ou software, que são utilizadas dentro do Geoprocessamento. Fitz (2008) conceitua o SIG como sendo um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados obtidos de um plano real espacialmente referenciados a um dado sistema de coordenadas conhecido.

O SIG, segundo Rodrigues (2015) trabalha basicamente com dois tipos de dados geográficos que são vetores e matrizes (*raster*), e que se destacam por sua capacidade analítica. Os vetores são compostos por pontos, linhas (dois pontos ligados) e polígonos (conjunto de pontos e linhas), e são definidos por conjuntos de coordenadas: eixo X (leste-oeste), eixo Y (norte-sul) e Z (altitude), esses tipos de dados permitem a modulação de duas a três dimensões e cálculos geométricos. Os dados matriciais ou *rasters* representam o espaço através de uma malha contínua, denominada de pixels, cada um deles identificados por meio dos índices de linhas e

colunas, dessa forma, cada um desses *pixels* registra um único valor numérico e que pode traduzir informações referentes ao objeto em análise.

De acordo com Ferreira (2007), quando se dá início a qualquer atividade ou análise espacial dentro de um ambiente de SIG, não se pode ignorar que a ocorrência da transformação da “paisagem real” em “paisagem digital” para uma posterior exibição e armazenamento de dados, determinado um conjunto de finalidades. Os SIGs não se restringem apenas a conversão e ao armazenamento de dados, para Moura (2014) o ambiente de análise do SIG evoluiu muito, ao ponto de permitir ao usuário trabalhar as relações espaciais entre os dados, permitindo a elaboração de diversos e diferentes tipos de análises, cenários, prognósticos e modelos.

Piroli (2015) afirma que as informações que são ordenadas adequadamente em bancos de dados compatíveis, contendo principalmente a localização espacial do objeto de estudo são de fundamental importância para o planejamento, a gestão e o manejo corretos e aplicados em áreas de interesse. Dessa forma, fica explicito a importância de bancos de dados geográficos para estudos relacionados com o meio ambiente, ressalta-se também que o equacionamento de problemas ambientais pode tornar-se mais complexo por falta de bancos de informação. As bases de dados espaciais existentes podem ainda sofrer certas restrições de uso devido a problemas de diferentes compilações, como a falta de precisão na avaliação, sistema de amostragem não confiável, escalas diferentes de trabalho, entre outros (MIRANDA, 2010).

De acordo com Rosa (2005) todas as operações referentes ao Geoprocessamento processadas em ambiente de SIG objetivam maior facilidade, segurança e agilidade em atividades que são referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativo ao meio físico. Os Sistemas de Informações Geográficas têm sido utilizados com intensidade cada vez maior, trazendo importantes contribuições para a análise de características e cenários como em áreas de bacias hidrográficas (PIROLI, 2015).

Os SIGs podem ser analisados como sendo uma ferramenta de mapeamento para a indicação de respostas às várias questões existentes sobre o planejamento urbano, regional, e do meio rural, além de poder realizar o levantamento dos

recursos naturais renováveis, descrevendo mecanismos de mudanças que agem no meio ambiente e auxiliando no planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões de interesse (FERREIRA, 1997).

Assad e Sano (1998) analisaram a utilização de SIG na avaliação de terras para a agricultura visando à definição de práticas adequadas para o manejo e conservação de solo e água, dentre as práticas analisadas a aptidão agrícola e a capacidade de uso do solo. Ainda segundo os mesmos autores, o SIG possui como vantagem a minimização da complexidade e do grau de subjetividade de estimativas feitas com cruzamentos de informações sobre o meio ambiente de forma manual, possibilitando maior rapidez nas operações realizadas com sobreposição de mapas e no cálculo de variáveis, a obtenção de mapas temáticos, além de facilitarem e atualizarem os diagnósticos feitos com dados na base cartográfica digital.

O uso e a aplicação de SIG no estudo do meio ambiente físico-biótico, como no caso de bacias hidrográficas é vasto, quase sempre visando à gestão, o planejamento e o monitoramento do ambiente, levando-se em consideração diferentes fatores. Os Sistemas de Informação Geográfica são amplamente empregados em diversas esferas dos problemas relacionados aos estudos ambientais, tais como: mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliações de impacto ambiental, ordenamento do território e prognósticos de ordem ambiental (MEDEIROS; CÂMARA, 2001).

2.5.3.1 *Software* ArcGIS

O ArcGIS consiste em um pacote de *softwares* SIG desenvolvido pela empresa norte-americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), no ano de 1992 com sua primeira versão denominada ArcView 1.0. Desde o final da década de 90 o ArcGIS se consolidou no ramo das Geotecnologias, fornecendo ferramentas para armazenamento e manipulação de dados, análise espacial, processamento de dados geográficos e mapeamentos (SILVA; MACHADO, 2010).

O ArcGIS é um sistema de partes que podem ser implementadas em um único computador, ou em uma rede de estações de trabalho e servidores. Os seus

usuários podem implementar várias partes deste sistema para elaborar um SIG para usuários individuais, grupos de pesquisa, departamentos, grandes empreendimentos, entre outras finalidades (REIS, 2016).

Este programa é um dos mais utilizados no mundo para SIG por apresentar variedade de extensões e ferramentas, além da capacidade de leitura de diversos formatos de arquivos, reconhecendo importantes tipos de extensões utilizadas nas plataformas de Geoprocessamento, extensões do AutoCAD (.dwg, .dxf, .dgn), TIFF e GEOTIFF, TIN e DEM, dentre outros tipos de arquivos (SILVA; MACHADO, 2010).

O ArcGIS usa modelos de dados de SIG para representar a Geografia terrestre e provê todas as ferramentas necessárias para poder criar e trabalhar com dados geográficos. Isto inclui ferramentas para todas as tarefas de SIG: editando e automatizando dados, mapeando cartograficamente tarefas, realizando análise geográfica, administrando dados avançados e desenvolvendo dados e aplicações na Internet, entre outras (REIS, 2016).

O aplicativo ArcGIS *Desktop* é basicamente constituído por três tipos de produtos: o ArcView/ArcMap, que permite a visualização de dados espaciais, criação de mapas em camadas (*layers*) e realizar análises espaciais básicas; o ArcEditor, que em adição as funcionalidades do ArcMap, possui ferramentas padrões avançadas para manipulação de vetores (*shapefile*) e bancos de dados (*geodatabase*); e o ArcInfo, que inclui recursos avançados para manipulação, edição e análise de dados (SEBEM; MONGUILHOTT, 2010).

Por sua vez, o ArcMap também possui como ferramentas acopladas o ArcCatalog, que consiste em uma interface para administração das bases de dados geográficas em um Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) a serem trabalhados; e o ArcToolbox que contém muitas ferramentas utilizadas para o Geoprocessamento de dados e operações mais elaboradas com dados geográficos (SILVA; MACHADO, 2010; REIS, 2016).

Finalizando o conjunto de produtos que formam o ArcGIS tem-se o ArcReader, que permite visualizar e consultar informações e mapas criados com os outros produtos da ESRI; o ArcScene, que permite visualização e criação de dados geográficos em 3D; e o ArcGlobe, que semelhante ao Google Earth, possui a

representação da superfície terrestre em um globo que se pode navegar e visualizar dados em três dimensões (SEBEM; MONGUILHOTT, 2010).

2.5.3.2 *Software* TerrSet

O TerrSet é um sistema de *softwares* integrados SIG, voltado principalmente para a modelagem e monitoramento geoespacial, desenvolvido pelo Clark Labs da *Graduate School of Geography* da Universidade de Clark, Massachusetts, EUA no ano de 2015. Esse aplicativo é uma evolução dos *softwares* do projeto IDRISI inicialmente desenvolvido pelo professor J. Ronald Eastman no ano de 1987, em parceria com a ONU.

O Projeto IDRISI foi incialmente sem fins comerciais, incorporado em 1988 à instituição de pesquisa e desenvolvimento do Clark Labs. As versões do projeto como o IDRISI Kilimanjaro (2004), IDRISI Andes (2006), IDRISI Taiga (2009), IDRISI Selva (2012) e mais recentemente o TerrSet (2015) oferecem ferramentas úteis e inovadoras de apoio à decisão, principalmente na gestão ambiental, no âmbito do planejamento sustentável de recursos naturais e demais aplicações, especialmente nos trabalhos de cooperação para o desenvolvimento, como por exemplo, a distribuição de alimentos, conservação de biótopos, entre outros (LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO DO CENTRO DE ECOLOGIA – LABGEO, 2016).

E embora comercial, o projeto IDRISI e agora o TerrSet sempre buscou oferecer recursos de análise espacial a preços acessíveis. Hoje, todo o aporte financeiro vem da venda dos softwares, porém, relações com universidades e agências de desenvolvimento ainda são mantidas, na tentativa de prover um custo acessível aos instrumentos de análise geográfica e como sendo um projeto universitário, os recursos adquiridos são investidos em novos desenvolvimentos (HASENACK, 2010).

Devido à grande disseminação do projeto, ao invés de representantes comerciais do aplicativo, a Universidade de Clark sempre ofereceu apoio aos usuários em diferentes idiomas. Os primeiros cinco centros foram criados em 1995, sendo quatro na Europa (Áustria, Grã-Bretanha, Hungria, Suíça) e um na América

do Sul. Posteriormente outros Centros foram criados, totalizando hoje 21 Centros na Europa, África, Américas e Ásia. O Brasil, desde o ano de 1995, possui uma sede do Centro de Recursos IDRISI para países de língua portuguesa, que está localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre-RS (LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO DO CENTRO DE ECOLOGIA – LABGEO, 2016).

Como evolução do projeto IDRISI, o *software* TerrSet inclui as já conhecidas ferramentas de análise SIG do IDRISI (*IDRISI GIS Analysis*); os algoritmos de processamento de imagens (*IDRISI Image Processing*); os já conhecidos módulos LCM (*Land Change Modeler*) e o ETM (*Earth Trends Modeler*). O TerrSet também amplia as opções de trabalho a partir de aplicativos verticais com os seguintes novos módulos: o GeOSIRIS, um módulo específico para estudos de redução de emissões por desmatamento e degradação de florestas; o CCAM que apresenta aplicação voltada para estudos de variações climáticas; o ESM, um módulo destinado ao estudo e monitoramento de ecossistemas; e o HBM que fornece ferramentas para avaliação de habitat, análise de padrões de paisagem e modelagem da biodiversidade.

Tanto o IDRISI quanto o TerrSet consistem de uma interface principal e uma gama de mais de 150 módulos de programas que oferecem funções para a entrada, exibição e análise de dados geográficos. Envolve ainda, todo o espectro de necessidade em Sensoriamento Remoto, executando diversas operações no âmbito do processamento de imagens, como a correção radiométrica e geométrica, o realce, aplicação de filtros e todos os tipos de classificação de imagens. Executam análises de componentes principais, também produzem uma gama de índices de vegetação e extração de assinaturas espectrais (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS – INPE, 2016).

2.5.4 Banco de Dados Geográficos

Todo local físico ou virtual onde estão armazenados dados, pode de certa maneira, ser chamado de banco de dados, por exemplo, uma enciclopédia, ou até

mesmo um site podem ser considerados como banco de dados. Já nos casos onde os dados são armazenados em meio digital, na forma de tabelas relacionáveis entre si, por meio de campos chaves, tem-se o que é chamado de banco ou base de dados relacional, utilizado pelos mais diversos setores (MEDEIROS, 2016).

Para a gerencia de banco de dados convencionais faz-se o uso de *softwares* chamados Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD). Silberschatz, Korth e Sudarshan (2012) definem um SGBD como sendo uma coletânea de dados e programas que permitem o acesso as informações e dados desejados. Suas funcionalidades principais são: o armazenamento de grandes volumes de dados, a manipulação de informações e a segurança de todas as informações registradas. São exemplos desse tipo de programas: o PostgreSQL, MySQL, Access e Oracle.

Novelli (2006) ressaltou algumas regras para os SGBD como: a autocontenção, um SGBD não possui apenas dados, mas também armazena toda descrição de dados, relacionamentos e formas de acesso; a independência de dados, quando as aplicações estão imunes a mudanças na estruturação e armazenamento, ou até mesmo na estratégia para o acesso de dados; a abstração de dados, um SGBD é fornecido ao usuário apenas como uma representação conceitual dos dados, não demonstrando os detalhes reais sobre sua forma de armazenamento; visualização, O SGBD deve permitir que cada usuário visualize os dados de diferentes formas com relação à vista anterior ao banco de dados; transações, um SGBD deve garantir a integridade referencial em sua programação, sem necessitar da ajuda de um outro aplicativo.

Os Bancos de Dados Geográficos (BDG), também conhecidos como Bancos de Dados Espaciais (BDE), possuem estrutura e funcionalidade semelhantes aos bancos de dados convencionais, com a grande diferença de poder suportar feições geométricas em suas tabelas, além de oferecerem a possibilidade de análise e consultas espaciais. Ou seja, esse tipo de banco de dados possibilita a realização de cálculos como áreas, distâncias e centroides, além de realizar a geração de *buffers* (zona de influência) e outras operações entre geometrias (MEDEIROS, 2016).

Segundo Medeiros (2016), os SGBD convencionais não suportam a implementação de um BDG de forma nativa. Por isso, diversas empresas desenvolvedoras desses tipos de programas, criaram extensões espaciais que

possibilitam trabalhar com esse tipo de informação espacial. Um exemplo dessas extensões é o PostGIS, que é a extensão espacial do famoso SGBD de código aberto PostgreSQL.

De acordo com Casanova et al. (2005) com a utilização dessas extensões chamadas de *plugins* é possível importar arquivos vetoriais do *Shapefile* (.shp) para dentro de um banco de dados convencional, utilizando recursos oferecidos pelo programa ou utilizando algum *software* SIG com essa funcionalidade. Dessa forma, o arquivo *Shapefile* será convertido então em uma tabela espacial que pode ser integrada com as convencionais contidas na base, além de poder ser visualizada e manipulada por programas como o ArcGIS, gvSIG, Quantum GIS (QGIS), e outros softwares SIG.

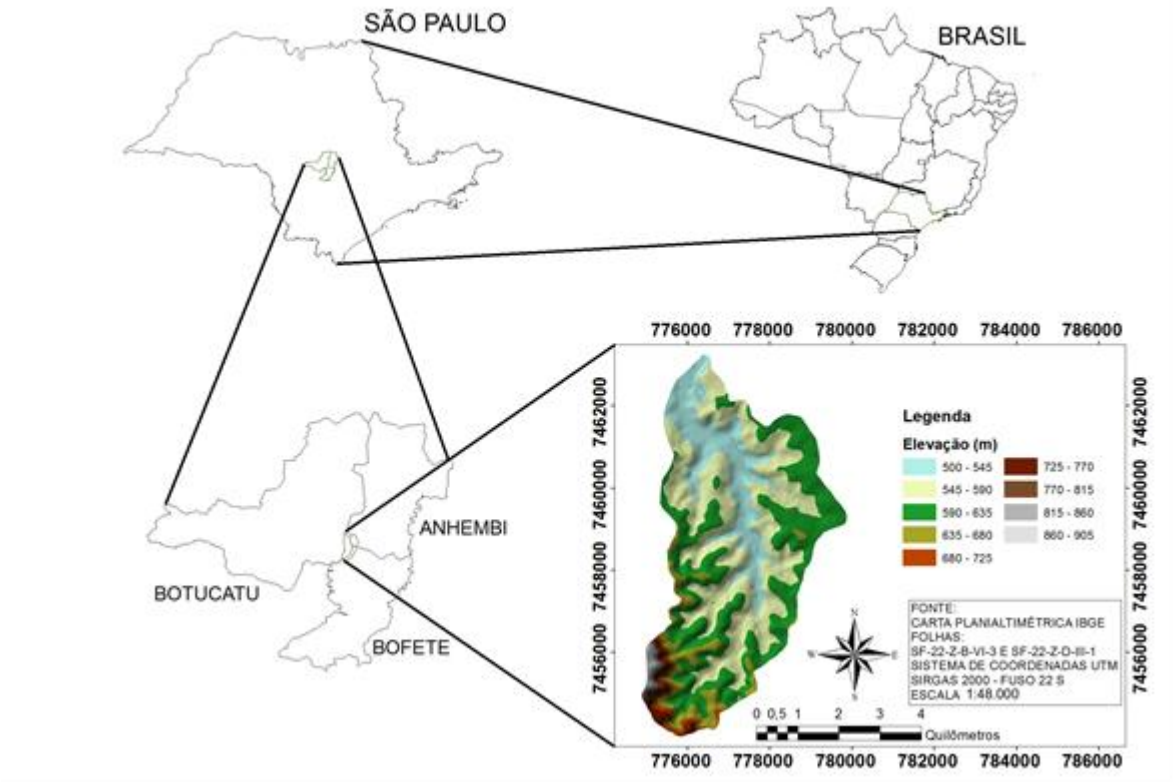
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Caracterização da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas

A bacia hidrográfica do Córrego Anhumas (Ilustração 1) está localizada na região de divisa entre os municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu, inserida na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo. Com relação aos municípios a que sua área pertence, Anhembi ocupa a porção leste, enquanto que Bofete fica na parte mais ao sul e Botucatu a oeste. A região pertencente à bacia hidrográfica ainda fica distante cerca de 230 quilômetros da capital do estado de São Paulo.

Ilustração 1 - Localização da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



A região possui situação definida nas coordenadas geográficas 48° 19' 37" a 48° 16' 13" de longitude W Gr. e 22° 59' 59" a 22° 54' 30" de latitude S, apresentando uma área de 2.649,66 hectares.

O Córrego Anhumas está inserido na bacia hidrográfica do Sorocaba/Médio Tietê que compreende a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI - 10) do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (SIGRH-SP), e compreende a área drenada pelo Córrego Anhumas e seus afluentes, sendo o principal deles o Córrego dos Morais, o Córrego Anhumas por sua vez, deságua no Rio Alambari, que por sua vez deságua no Rio Tietê.

Geologicamente a área de estudo está localizada na unidade geotectônica denominada de Bacia Sedimentar do Paraná, que de acordo com Almeida e Melo (1981), trata-se de uma vasta superfície formada por uma grande geossinclinal pela deposição de sedimentos e derrames de lavas basálticas, com ocorrência desde o Período Carbonífero da Era Paleozoica até o Período Cretáceo da Era Mesozoica.

Portanto, a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas assenta-se sobre litologias encontradas na Bacia do Paraná, como as constituídas por Depósitos Aluvionários e Depósitos Terciários, que segundo Gomes, Medeiros e Pinto (2015); e Crepani et al. (2001), são depósitos de idade cenozoica e caracterizam-se por serem constituídos por pacote de sedimentos pouco conhecidos e agrupados de forma genérica como Aluviões, Colúvios, entre outros e a Formação Botucatu e Formação Pirambóia, essas formações de acordo com Crepani et al. (2001) são constituídas principalmente por Arenitos Quartzosos de granulação fina a média, de coloração vermelha, rósea ou amarelo-clara, bem selecionados.

O clima da região de estudo, conforme a classificação climática de Köppen, para os municípios de Botucatu e Bofete são do tipo Cwa, sendo definido como subtropical úmido com inverno seco e frio e chuvas no verão com maior intensidade, já o município de Anhembi é do tipo Aw, sendo definido como tropical chuvoso com inverno seco e frio e predominância de chuvas no verão; a temperatura média anual é de 22,3 °C em Anhembi, 21,5 °C para Bofete e 20,7 ºC para Botucatu, e a precipitação média anual é de 1307,2 mm, 1490,6 mm e 1358,6 mm, com altitude de 480, 570 e 840 metros, respectivamente (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2016).

Sobre a geomorfologia, a área é predominantemente ondulada, típicas do Planalto Residual de Botucatu (Planalto Ocidental Paulista) e da Depressão Médio Tietê (Depressão Periférica Paulista). Com base no mapa geomorfológico do Estado de São Paulo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1981) o relevo é classificado como de colinas com topos amplos (Ilustração 2), sendo que neste tipo de sistema de relevo predominam interflúvios com área superior a 4 km^2, com topos extensos e aplainados, e vertentes com perfis retilíneos a convexos.

Ilustração 2 - Perfil da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Os solos presentes em maior abrangência na região de estudo conforme o Instituto Agronômico de Campinas - IAC (1999) são o Argissolo Vermelho-Amarelo, que possui textura arenosa/média e o Latossolo Vermelho-Amarelo, que possui textura argilosa.

A agricultura é uma atividade de grande importância para os três municípios componentes da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas (Ilustração 3), com boa parcela de participação no PIB (Produto Interno Bruto) de cada município. Nos municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu tem-se grande destaque para a pecuária bovina tanto de leite quanto de corte, seguido por reflorestamentos, cultura da cana-de-açúcar e citricultura (COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL - CATI, 2010a; CATI, 2010b; CATI, 2011).

Ilustração 3 - Usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

3.1.2 Bases cartográficas

Para o apoio cartográfico, utilizou-se as cartas planialtimétricas editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1973) em formato impresso e digital em escala 1:50.000 com equidistância das curvas de nível de 20 metros referentes às folhas de Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3) e de Bofete (SF-22-Z-D-III-1). Essas cartas foram utilizadas para a delimitação do limite e da rede de drenagem da bacia hidrográfica.

Os dados do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2008) também foram utilizados como base cartográfica, que oferece o Modelo Digital de Elevação do terreno (MDE) e suas derivações elaborados a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo USGS (*U.S. Geological Survey*) que possui equidistância entre

as curvas de nível em 30 metros, a preferência pelo material do TOPODATA, em relação à fonte original dos dados SRTM ocorre pelo fato de originalmente esses dados foram amostrados com uma equidistância de 90 metros, tendo o INPE tratado esses dados e reajustando sua equidistância para 30 metros, onde então é possível obter informações mais próximas da realidade. O MDE foi utilizado para retirada das curvas de níveis da área bem como suas respectivas elevações para realização do mapa altimétrico e de declividade da área de estudo.

Também foi utilizado o mapa de solos do Estado de São Paulo confeccionado em escala 1:500.000 pelo Instituto Agronômico de Campinas - IAC (1999) em formato impresso, onde posteriormente foi digitalizado e obteve-se os pontos de controle (coordenadas) para o georreferenciamento para poder assim extrair o mapa de solos da bacia do Córrego Anhumas.

Todos os mapeamentos realizados neste trabalho adotaram o datum horizontal oficial do Brasil SIRGAS 2000. Para tanto, os materiais cartográficos elaborados em outros sistemas de referência foram convertidos para este datum.

3.1.3 Imagens de satélite e *softwares*

A cartográfica digital (Tabela 2) utilizada foi oriunda de imagem de satélite LANDSAT-8, sensor OLI (*Operacional Land Imager*), de 13 de agosto de 2015, da órbita 220, ponto 76, operando em onze bandas espectrais das quais, para esta pesquisa, foram utilizadas as bandas 4, 5 e 6, referentes ao vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio respectivamente, pois estas apresentam uma melhor visualização na discriminação dos alvos. Também foi utilizada a banda 8 (pancromática) do satélite LANDSAT-8, que possui resolução de 15 metros para ser fusionada com as demais, transformando suas resoluções também em 15 metros, para melhor identificação dos objetos em análise nas imagens. As imagens foram obtidas gratuitamente através do catálogo de imagens do Departamento do Interior dos EUA/Pesquisa Geológica dos EUA (*U.S. Department of the Interior/U.S. Geological Survey*). A utilização de imagem de satélite foi fundamental para a elaboração do mapa de uso e ocupação atual do solo, geração dos *buffers* de APP

(Áreas de Preservação Permanente) e também para o mapa de práticas de conservação do solo.

Tabela 2 - Características das bandas utilizadas do satélite LANDSAT-8.

Bandas	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)
Banda 4 - Vermelho	0,64 - 0,67	30	16
Banda 5 - Infravermelho próximo	0,85 - 0,88	30	
Banda 6 - Infravermelho médio	1,57 - 1,65	30	
Banda 8 - Pancromática	0,50 - 0,68	15	

Fonte: *U.S. Department of the Interior/U.S. Geological Survey* (2016).

O *software* ArcGIS 10.3 foi utilizado para geração dos mapas temáticos e também a geração MDE, além do processamento das informações, georreferenciamento, composição colorida da imagem de satélite - bandas 6, 5 e 4 em filtro BGR (Blue, Green e Red) -. A plataforma ArcGIS baseia-se na estrutura de três aplicativos: ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox, a utilização destes três permite desempenhar tarefas simples ou complexas, como gestão de dados geográficos, cartografia, análise espaciais, edição avançada de dados ou ligação à base de dados externos.

O aplicativo TerrSet, por meio do seu módulo *IDRISI GIS Analysis* também foi utilizado para a geração do mapa das classes de capacidade de uso do solo pela sua ferramenta de análise conhecida como *Overlay*.

O *software* livre Google Earth Pro foi utilizado como um gerador de mapas bidimensionais, para averiguar usos e ocupações do solo não identificados nas imagens de satélite e nas visitas de campo, e também como simulador de paisagem. O Google Earth Pro apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaicos de imagens oriundas de diferentes programas espaciais e GIS 3D (Geographic Information System-3D).

Também foi utilizado o aplicativo livre netErosividade SP, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH/UFV) em parceria com o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (MOREIRA et al., 2006), para a determinação da Erosividade da chuva.

3.2 Métodos

3.2.1 Delimitação da área e rede de drenagem

A primeira etapa consistiu no *download* das cartas planialtimétricas do IBGE em formato digital e na forma de vetores. No ArcMap houve a conversão do vetor em formato .dgn para *shapefile* por meio da ferramenta *Export data*. Após a conversão houve a transformação do datum de origem (Córrego Alegre) para SIRGAS 2000 com o uso da ferramenta do ArcToolbox *Projections and Transformations*.

Posteriormente, com o uso do *Editor* presente no ArcMap e com a ferramenta de desenho *Construction Tool* foi possível delimitar o limite da bacia hidrográfica pelas linhas dos divisores topográficos e freáticos que demarcam o seu contorno ligando pelos pontos mais elevados em torno da drenagem construindo um polígono. Depois de ter o limite pronto, a drenagem foi retirada pelo recorte do vetor das cartas com o limite da bacia, utilizando a ferramenta *Clip* extraindo as linhas da rede de drenagem, por sequência, com o uso do *Editor* e da ferramenta *Draw*, criaram-se pontos nas extremidades de cada segmento da drenagem - com exceção da foz - representando as nascentes da área.

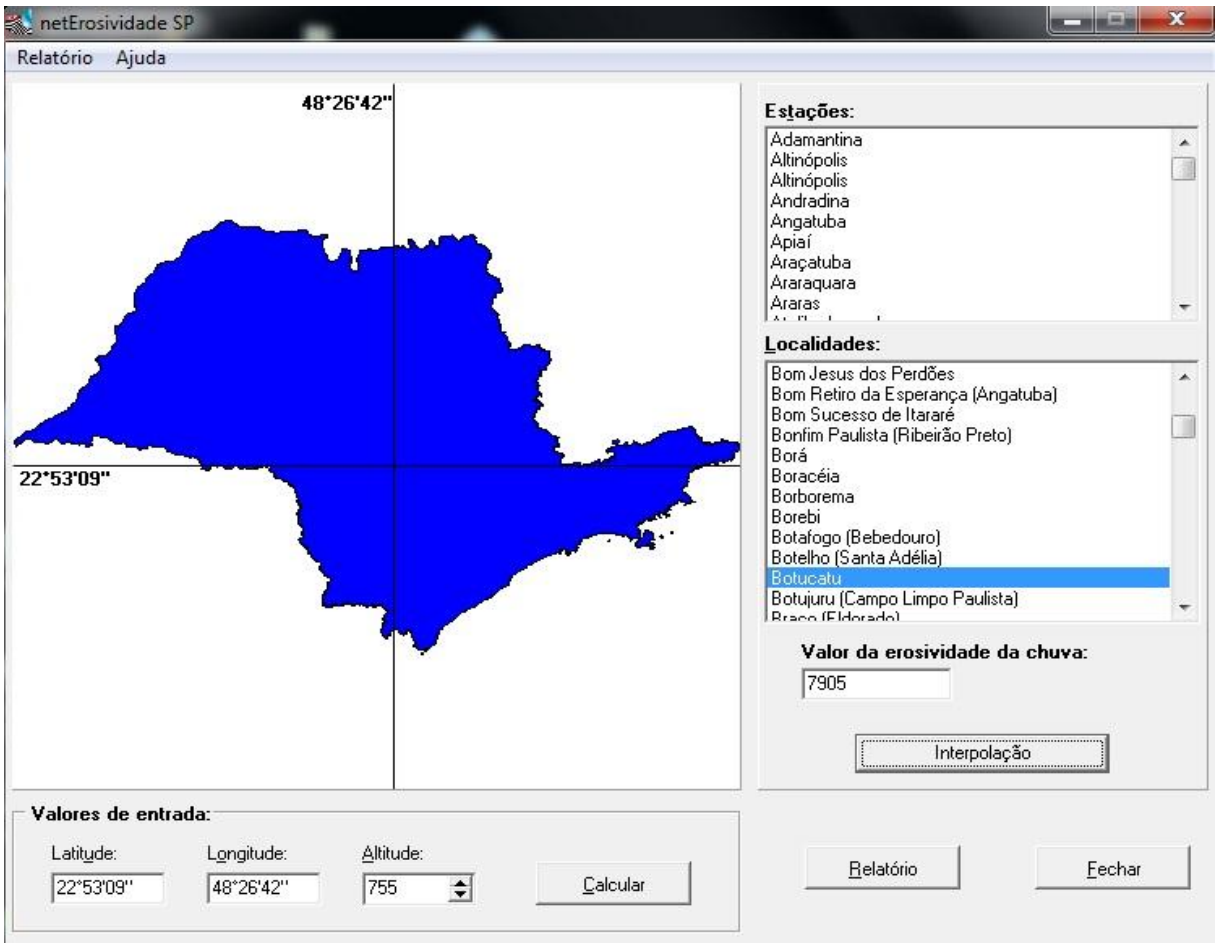
3.2.2 Modelo da RUSLE e a obtenção de seus fatores

A metodologia de obtenção dos fatores que compõe a RUSLE para estimativa das perdas de solo por erosão na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas é apresentada a seguir.

3.2.2.1 Obtenção da Erosividade da chuva (Fator R)

A Erosividade da chuva (Ilustração 4), ou a capacidade da chuva de provocar erosão em um terreno desprotegido de vegetação, foi elaborada para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas, a partir dos dados de Erosividade do *software* livre netErosividade SP (MOREIRA et al., 2006).

Ilustração 4 - *Software* netErosividade SP para estimativa da Erosividade da chuva.



Considerando os valores da Erosividade (Tabela 3) dos municípios que a bacia do Córrego Anhumas faz parte (Anhembi, Bofete e Botucatu), foi possível a elaboração do mapa de do Fator R da área, por meio da ferramenta do ArcMap *Construction Tool*, desenhando cada feição pertencente ao município dentro da bacia. Após isso, o mapa em formato *shapefile*, foi convertido para *raster* com o uso

da ferramenta do ArcToolbox *Feature to raster*, onde então foi atribuído o Fator R para cada respectiva área. Esse passo é importante para o cálculo da RUSLE e a posterior criação do mapa final de perdas de solo.

Tabela 3 - Valores de Erosividade para os municípios pertencentes a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Municípios	netErosividade SP (software) Fator R (MJ.mm/h.ha)
Anhembi	7123
Bofete	6537
Botucatu	7905

3.2.2.2 Obtenção da Erodibilidade do solo (Fator K)

O mapa da erodibilidade do solo do Córrego Anhumas foi elaborado com base no mapa de solos do Estado de São Paulo, confeccionado em escala 1:500.000 pelo Instituto Agronômico de Campinas - IAC (1999) em formato impresso.

A primeira etapa consistiu no escaneamento do mapa, transformando-o em formato digital e sua posterior importação para o ArcGIS, onde o georreferenciamento do mapa foi realizado, por meio do comando *Georeferencing*. Após esta etapa, o datum do mapa foi alterado para SIRGAS 2000, pelo comando do ArcToolbox *Projections and transformations* e com uso da ferramenta *Extraction by mask* foi possível recortar o mapa no limite da bacia hidrográfica. A partir do limite e com a utilização da ferramenta *Construction Tool* foi possível desenhar cada feição representante das classes de solos encontradas na área de estudo.

Dessa maneira, o mapa do Fator K foi elaborado a partir dos dados dos principais solos da região. Para o cálculo dos valores de K de cada solo foi realizada a média dos trabalhos desenvolvidos por Mannigel (2002), Bertoni e Lombardi Neto

(2005), Farinasso et al. (2006), Helm (2008), e Demarchi (2012), que possuíam os mesmos tipos de solo que os encontrados no Córrego Anhumas (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de Erodibilidade das classes de solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Sigla	Mannigel (2002)	Bertoni e Lombardi Neto (2005)	Farinasso et al. (2006)	Helm (2008)	Demarchi (2012)	Fator K (t.h/MJ.mm)
PVAd1	0,0283	0,0260	0,0470	0,0249	0,0320	0,03036
PVAd2	0,0283	0,0235	0,0440	0,0249	0,0320	0,02921
LVAd	0,0096	0,0100	-	0,0144	0,0290	0,01182

Onde: *PVAd1* é a Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; *PVAd2* é a Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico; e *LVAd* é a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Semelhante ao Fator R, o mapa do Fator K em formato *shapefile*, foi convertido para *raster* com o uso da ferramenta do ArcToolbox *Feature to raster*, onde então foi inserido o valor do Fator K para cada área, para o posterior cálculo da RUSLE utilizando a ferramenta *Raster calculator*.

3.2.2.3 Obtenção do comprimento de rampa e declividade (Fator LS)

O Modelo de Elevação do Terreno (MDE) foi realizado no ArcMAP, no arquivo matricial do TOPODATA, convertendo o datum para o de interesse e recortando para a área de estudo. Após processamento foi gerado um *raster* contendo a direção do fluxo de cada célula. As depressões, as áreas de drenagem interna vazia e os erros foram identificados e a correção desses erros de preenchimento do arquivo foi realizada utilizando-se a ferramenta *Fill* do ArcToolbox para remover estas imperfeições.

Por sequência, criou-se a direção de fluxo e o fluxo acumulado do arquivo matricial, que demonstram respectivamente a direção e o acúmulo do fluxo em cada célula que contém a sua altitude, com as ferramentas do ArcToolbox *Flow direction* e *Flow accumulation*. Dessa forma, o mapa do comprimento de rampa (Fator L) consiste então do acúmulo de fluxo presente na bacia hidrográfica. Importante salientar que o mapa gerado já resulta diretamente em formato *raster*.

O mapa de declividade (Fator S) também foi gerado a partir do MDE. De posse do arquivo MDE, com a utilização da ferramenta do ArcToolbox denominada de *Countour*, que liga pontos de valores iguais, como o caso das curvas de nível. Dessa forma foi possível então obter os vetores que representam as curvas de nível da área de estudo.

Depois de geradas as curvas, as mesmas foram classificadas seguindo a recomendação de classe de declive em porcentagem e formato do relevo propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2013) - Tabela 5 -. Semelhante aos outros fatores, o mapa do Fator S, em formato *shapefile*, foi convertido para *raster* por meio da ferramenta do ArcToolbox denominada *Feature to raster*, onde então foi atribuído o valor referente a cada classe de declive, para posteriormente realizar o cálculo da RUSLE.

Tabela 5 - Classes de declive e relevo correspondentes do Fator S.

Classe de declividade (%)	Classe de relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (2013).

Posteriormente, com os arquivos matriciais do Fator L e do Fator S e com o uso da ferramenta *Raster calculator* do ArcToolbox realizou-se o cruzamento dos dois fatores por meio da álgebra de mapas, para então obter o mapa em conjunto dos dois fatores denominado de Fator LS da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas.

3.2.2.4 Obtenção do uso e ocupação do solo (Fator C)

A primeira etapa, com a utilização de imagem do satélite LANDST-8, foi a conversão do seu datum de origem (WGS84 em coordenadas UTM Norte) para coordenada UTM SIRGAS 2000 Sul, com a utilização do comando *Projections and transformations* do ArcToolbox. Após a mudança de datum, efetuou-se o recorte da imagem por meio da opção *Extraction by mask* do ArcToolbox, extraindo assim apenas a área da bacia para cada uma das bandas trabalhadas (4, 5 e 6).

Com as bandas das imagens recortadas, foi realizado o processo de composição da imagem RGB (*Red, Green, Blue*), utilizando-se da função *Composite bands* do menu *Raster* do ArcMap. A composição colorida trata-se de um dos artifícios de maior utilidade na interpretação das informações do Sensoriamento Remoto, como no caso das imagens de satélite, que naturalmente vem em escala pancromática (tons de cinza) e com a aplicação do filtro RGB ficam com coloração próxima a que vemos os objetos reais.

Então após o recorte, no próprio SIG foi realizada a interpretação visual em tela, onde as áreas de uso e ocupação foram classificadas sobre a composição colorida, ampliadas em tela para melhor visualização. Nessa etapa também foi utilizado o *software* Google Earth Pro, onde o limite da bacia foi exportado e como suas imagens e fotos possuem melhor resolução espacial auxiliaram na melhor identificação dos objetos presente na imagem de satélite.

Para a elaboração dos polígonos de uso e ocupação do solo, utilizou-se da ferramenta *Construction tool* do ArcMap, sendo possível então desenhar dentro do limite da bacia, cada classe de feição representando os usos encontrados na área de estudo.

Após o desenho de cada classe sobre a imagem de satélite, com a utilização da ferramenta *Attributes* do ArcMAp foi possível colocar o código referente a cada uso, representando a nomenclatura de cada classe de feição. As classes de feição estabelecidas para o uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Anhumas/SP com base nas imagens do satélite LANDSAT-8 e do Google Earth Pro foram: 1) Bairro de Anhumas; 2) Café; 3) Citrus; 4) Cultura Anual; 5) Edificação Rural; 6) Erosão; 7) Ferrovia; 8) Pastagem; 9) Reflorestamento; 10) Represa; 11) Rodovia; 12) Solo Exposto; 13) Várzea e 14) Vegetação Nativa.

Dessa maneira, o mapa do Fator C foi elaborado para os principais usos e ocupação do solo na região. Para o cálculo dos valores de C de cada classe de uso foi realizada a média dos trabalhos desenvolvidos por Lagrotti (2000), Araujo Junior (2003), Martins (2005), Silva et al. (2010), Demarchi (2012), e Costa (2014), que possuíam usos do solo semelhantes os encontrados no Córrego Anhumas (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores do Fator C referente as classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Usos do Solo	Lagrotti (2000)	Araujo Junior (2003)	Martins (2005)	Silva et al. (2010)	Demarchi (2012)	Costa (2014)	Fator C
Bairro de Anhumas	-	0,1500	-	-	-	0,0103	0,0802
Café	0,0887	-	0,0200	0,1350	0,0500	-	0,0734
Citrus	-	-	-	0,1350	0,1350	0,0800	0,1167
Cultura Anual	0,2013	0,1000	-	0,2512	-	-	0,1842
Edificação Rural	-	0,1500	-	-	-	0,0103	0,0802
Erosão	-	1,0000	1,0000	-	-	1,0000	1,0000
Ferrovia	0,1000	-	-	-	-	-	0,1000
Pastagem	0,0010	0,0100	0,0100	0,0300	0,0500	0,0199	0,0202
Reflorestamento	0,0491	0,0001	0,0026	0,0470	0,0470	0,0239	0,0283
Represa	-	-	-	-	-	0,0001	0,0001
Rodovia	0,1000	-	-	-	-	-	0,1000
Solo Exposto	-	0,9800	0,9900	-	-	1,0000	0,9900
Várzea	-	0,0004	-	-	-	-	0,0004
Vegetação Nativa	0,0004	0,0004	0,0001	0,0003	0,0004	0,0038	0,0009

Da mesma forma que os demais fatores, o mapa do Fator C em formato *shapefile,* foi convertido para *raster*, onde então foi atribuído o valor correspondente do Fator C, para cada uso e ocupação do solo, para o posterior cálculo da RUSLE utilizando a ferramenta *Raster calculator*.

3.2.2.5 Obtenção das práticas conservacionistas (Fator P)

O processo de obtenção do mapa das práticas conservacionistas foi semelhante ao que foi empregado para o Fator C, com a utilização das imagens do satélite LANDSAT-8 para o desenho das classes correspondentes a cada tipo de prática, com auxílio do *software* Google Earth Pro, para a melhor identificação dos tipos de práticas de caráter conservacionista existentes na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas.

As práticas conservacionistas foram identificadas de acordo com classificação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005) - Tabela 7 -, que considera as seguintes práticas de conservação do solo: 1) Plantio morro abaixo; 2) Plantio em contorno; 3) Alternância de capinas mais plantio em contorno e 4) Cordões de vegetação permanente.

Tabela 7 - Valores do Fator P de cada prática conservacionista observada.

Práticas conservacionistas	Fator P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + Plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2005).

E assim como nos demais fatores, após a finalização do mapa em formato *shapefile*, houve sua conversão para o formato *raster* com o uso da ferramenta do ArcToolbox denominada *Feature to raster*, onde então foi atribuído o valor referente

ao Fator P para cada prática correspondente, podendo dessa forma, realizar o cálculo da RUSLE com todos os seus fatores constituintes.

3.2.2.6 Determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE) remete apenas as variáveis da RUSLE que representam os parâmetros do meio físico (erosividade, erodibilidade, declividade e comprimento de rampa), ou seja, considerando a área de análise destituída de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica, foi calculado segundo a Equação 2, seguindo metodologia proposta por Donzelli et al. (1992).

$$PNE = R \times K \times LS \quad (2)$$

Onde: *PNE* é o Potencial Natural de Erosão por unidade de área e de tempo (t/ha/ano); *R* é o Fator Erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h); *K* é o Fator Erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm); *LS* Fator Topográfico (adimensional), sendo L o comprimento de rampa e S a declividade.

Com os arquivos matriciais referentes aos Fatores R, K e LS e com a utilização da ferramenta do ArcToolbox *Raster calculator* foi possível então colocar a equação no SIG e realizar o cálculo do PNE. Após a obtenção do mapa, o mesmo foi reclassificado com a utilização da ferramenta *Reclass*, seguindo a classificação proposta por Silva (2008), como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 - Classes do Potencial Natural de Erosão (PNE).

Classes de PNE	Intervalo (t/ha/ano)
Fraco	0 - 400
Moderado	400 - 800
Forte	800 - 1600
Muito Forte	> 1600

Fonte: Silva (2008).

3.2.2.7 Determinação da RUSLE

A perda de solo anual da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas foi determinada no ArcGIS por meio do produto entre o Potencial Natural de Erosão (PNE) e os Fatores C e P, com isso formulando o modelo da RUSLE. Semelhante ao cálculo do PNE, o cálculo da RUSLE foi realizado com o uso da ferramenta *Raster calculator*, com a utilização de cada *raster* correspondente aos fatores, seguindo metodologia proposta por Costa (2014), onde cada fator recebeu o mesmo peso de ponderação na equação.

O mapa da RUSLE então foi reclassificado qualitativamente em classes indicativas para a perda de solo (Tabela 9), de acordo com a classificação proposta por Costa (2014), utilizando-se da ferramenta *Reclass* do ArcMap.

Tabela 9 - Classes indicativas para as perdas de solo.

Classes de perda de solo	Intervalo (t/ha/ano)
Nula	0 - 10
Moderada	10 - 25
Média	25 - 50
Média Forte	50 - 75
Forte	> 75

Fonte: Adaptado de Costa (2014).

3.2.3 Determinação das subclasses de capacidade de uso do solo

Para a geração do mapa de classes e subclasses da capacidade de uso do solo no Córrego Anhumas, utilizou-se a álgebra de mapas, sendo realizada uma sobreposição (multiplicação) dos mapas de declividade (em porcentagem) e de solos, ambos os mapas já em formato *raster*, utilizando-se do software TerrSet e da sua ferramenta denominada *Mathematical Operators*/*Overlay* do menu *GIS Analysis*.

Posteriormente, o mapa obtido do cruzamento dos mapas foi reclassificado, utilizando-se da ferramenta *Database Query*/*Reclass* presente também no menu *GIS Analysis* do TerrSet, assim agrupando as subclasses de mesmo tipo em função das características físicas e químicas de cada unidade de solo e das suas limitações referente ao uso.

Dessa forma, a capacidade de uso da terra do Córrego Anhumas foi elaborada de acordo com base no sistema de classificação constante no Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso elaborado por Lepsch et al. (1991), e a partir dos critérios de julgamento de enquadramento elaborados por Zimback e Rodrigues (1993) e Ribeiro e Campos (1999), conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Determinação das classes de capacidade de uso por critério de julgamento.

Limitação	Critérios	Classes de capacidade de uso							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Fertilidade aparente	Muito alta	X							
	Alta	X							
	Média		X						
	Baixa			X					
	Muito baixa						X		
Profundidade efetiva	> 200 cm	X							
	100 – 200 cm	X							
	50 – 100 cm		X						
	25 – 50 cm				X				
	< 50 cm					X			
Permeabilidade e drenagem	Excessiva		X						
	Boa	X							
	Moderada		X						
	Pobre			X					
	Muito pobre					X			
Deflúvio	Muito rápido				X				
	Rápido			X					
	Moderado		X						

Limitação	Critérios	Classes de capacidade de uso							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Pedregosidade	Lento	X							
	Muito Lento		X						
	Sem pedras	X							
	< 1 %		X						
	1 – 10 %			X					
	10 – 30 %				X				
	30 – 50 %						X		
	> 50 %							X	
Risco de inundação	Sem risco	X							
	Ocasional			X					
	Frequente								
	Muito frequente					X			X
Declividade	0 – 3 %	X							
	3 – 6 %		X						
	6 – 12%			X					
	12 – 20 %				X				
	20 – 40 %						X		
	> 40 %							X	
Erosão laminar	Não aparente	X							
	Ligeira		X						
	Moderada			X					
	Severa						X		
	Muito severa							X	
	Extremamente severa								X
Erosão em sulcos	Não aparente	X							
	Ocasionais		X						
	Frequentes			X					

Fonte: Adaptado de Zimback e Rodrigues (1993); Ribeiro e Campos (1999).

Após a determinação de cada classe de capacidade de uso foi necessário determinar as subclasses de capacidade de uso, bem como as limitações que cada divisão possui utilizando-se dos mesmos critérios de julgamento e seguindo a

metodologia proposta por Piroli (2002) e Campos et al. (2013), conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Determinação das subclasses de capacidade de uso por critério de julgamento.

Solo	FA	PE	PeD	Df	P	RI	Dec	EL	ES	V	Classe	Subclasse
$PVAd_1$	III	I	III	II	I	I	I	II	II	I	III	IIIs
$PVAd_1$	III	I	III	II	I	I	II	II	II	I	III	IIIs
$PVAd_1$	III	I	III	III	I	I	III	II	II	I	III	IIIe,s
$PVAd_1$	III	I	III	III	I	I	IV	II	II	I	IV	IVe
$PVAd_1$	III	I	III	IV	I	I	VI	II	II	I	VI	VIe
$PVAd_1$	III	I	I	IV	I	I	VII	II	II	I	VII	VIIe
$PVAd_2$	II	II	III	II	IV	I	I	II	II	I	IV	IVs
$PVAd_2$	II	II	III	II	IV	I	II	II	II	I	IV	IVs
$PVAd_2$	II	II	III	III	IV	I	III	II	II	I	IV	IVs
$PVAd_2$	II	II	III	III	IV	I	IV	II	II	I	IV	IVe,s
$PVAd_2$	II	II	III	IV	IV	I	VI	II	II	I	VI	VIe
$PVAd_2$	III	II	III	IV	IV	I	VII	II	II	I	VII	VIIe
LVAd	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	IIIs
LVAd	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	IIIs
LVAd	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	IIIe,s
LVAd	III	I	I	III	I	I	IV	II	II	I	IV	IVe
LVAd	III	I	I	III	I	I	VI	II	II	I	VI	VIe
LVAd	III	I	I	II	I	I	VII	II	II	I	VII	VIIe

Fonte: Adaptado de Piroli (2002); Campos et al. (2013).
Onde: *FA* é a Fertilidade aparente; *PE* é a Profundidade efetiva; *PeD* é a Permeabilidade e drenagem interna; *Df* é o Deflúvio; *P* é a Pedregosidade; *RI* é o Risco de inundação; *Dec* é a Declividade; *EL* é a Erosão laminar; *ES* é a Erosão em Sulcos; *V* é Voçorocas; *e* é a Limitação por erosão; e *s* é a Limitação por solo.

3.2.4 Adequação agronômica da bacia hidrográfica

A adequação agronômica da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas-SP consiste na sobreposição dos mapas de perdas de solo, com o de subclasses de

capacidade de uso do solo, além do arquivo *buffer* referente as Áreas de Preservação Permanente (APP) e a vegetação nativa existente na área, bem como as infraestruturas físicas, como o Bairro de Anhumas, as edificações rurais, a rodovia Marechal Rondon (SP-300 e SP-147) e a ferrovia (Estrada de Ferro Sorocabana) que cortam a bacia, esses últimos referente ao uso e ocupação do solo.

Com a posse dos demais mapas e informações, foi necessário a construção dos buffers referentes as APP hídricas (nascentes e drenagem) da bacia, seguindo a metragem proposta pela Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 e Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, também conhecida como Código Florestal, que entre outras providencias define a metragem das APP de forma geral, para as nascentes ficou definido 50 metros de raio e para a drenagem 30 metros de cada lado das margens dos rios, que no caso da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas são inferiores a 10 metros.

Utilizando-se da ferramenta *Buffer* do menu *Geoprocessing* do ArcGIS colocou-se como arquivo base a rede de drenagem da bacia em formato *shapefile* e definiu a metragem escolhida, para as nascentes realizou-se o mesmo procedimento. De posse dos dois *buffers* foi necessário uni-los com uso da ferramenta Union do menu *Geoprocessing*, dessa maneira, com a ferramenta do mesmo menu denominada Dissolve foi possível criar em um único arquivo o *buffer* referente as nascentes e rede de drenagem.

Por fim, com a posse dos *buffers* pode-se então criar o mapa de adequação agrícola da área sobrepondo todos esses mapas, onde excluído-se as áreas de vegetação nativa já existentes, as APP, e as áreas de infraestruturas, todo o restante fica apto para a agricultura, respeitando os locais onde as perdas de solos ocorrem em maiores proporções e seguindo os critérios das subclasses de capacidade do uso do solo, podendo dessa forma, cultivar desde culturas anuais, perenes, pastagem, reflorestamentos, até áreas que devido aos maiores riscos de degradação ao solo, o melhor uso é a destinação para a ocupação por vegetação nativa. O mapa final foi dividido em classes e na Tabela 12 pode-se observar as classes de adequação agronômica definidas para a bacia do Córrego Anhumas.

Tabela 12 - Classes de adequação agronômica.

Classes de adequação	Cultivo mais adequado
Classe I	Desde culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamentos
Classe II	Desde culturas perenes, pastagens e reflorestamentos
Classe III	Pastagens e reflorestamentos
Classe IV	Destinação a vegetação nativa

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A Equação Universal de Perdas de Solo

A dinâmica do processo erosivo é um fenômeno que ocorre naturalmente modificando a paisagem. Porém com o desenvolvimento da agricultura e a maior exposição do solo, as atividades antrópicas fazem com que as perdas de solo extrapolem a naturalidade do processo, tornando mais intenso e modificando de forma negativa a paisagem, devido a retirada das camadas superficiais do solo.

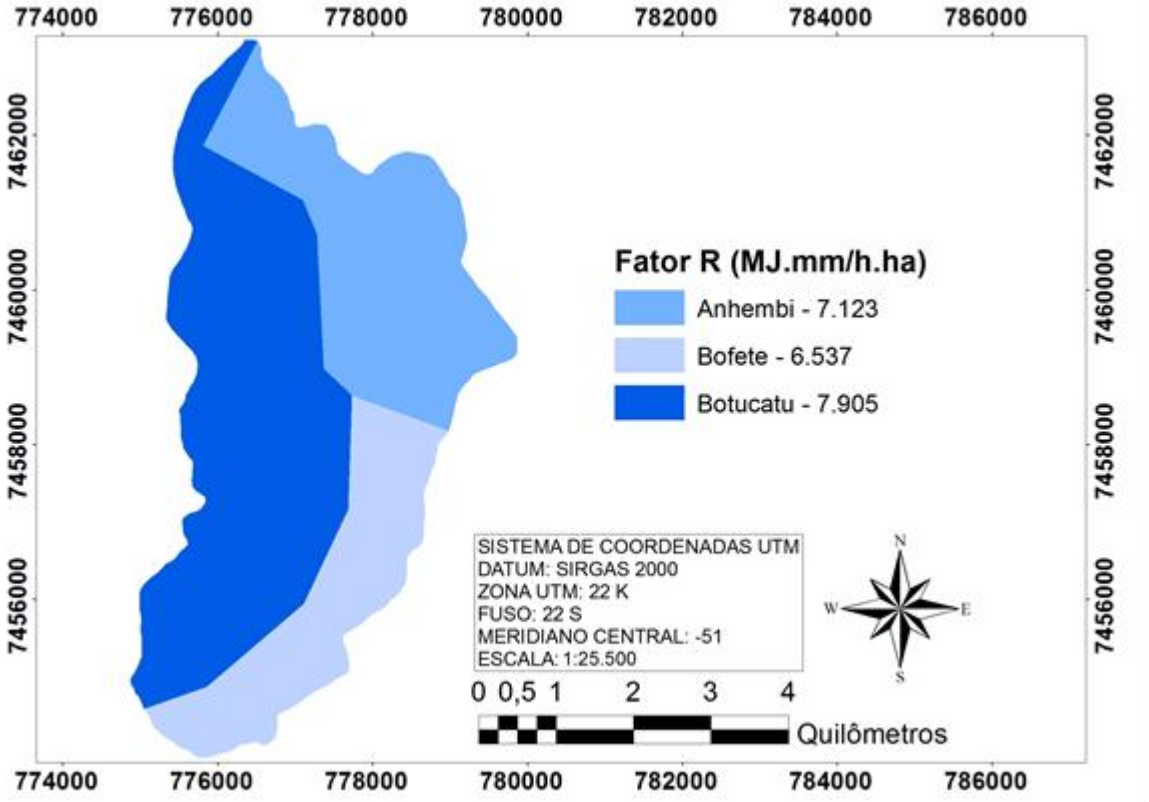
Estas camadas removidas percorrem o relevo da bacia hidrográfica sendo depositadas nas porções mais baixas desse sistema, que consiste na rede de drenagem, causando o assoreamento de cursos d'água. A erosão então além de afetar o local em que o processo ocorre, também causa danos em outras áreas próximas. Dessa maneira é importante compreender a espacialização das perdas de solo e conhecer as características da área analisada para saber se as perdas estão em um limite tolerável, ou se é melhor aplicar outras técnicas de manejo e/o culturas para que as perdas sejam as menores possíveis.

Então para avaliar as perdas de solo fez-se o uso da RUSLE, onde foi empregado os mapas de Erosividade, Erodibilidade, Topografia, Uso e Ocupação e Práticas Conservacionistas para o cálculo da equação.

4.1.1 Erosividade (Fator R)

A Erosividade (Ilustração 5) é fruto da precipitação atmosférica, tanto pela sua intensidade, quanto duração e frequência das chuvas. O Fator R determinado pelo software livre netErosividade SP determina o valor dessa variável para os municípios pertencentes a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas.

Ilustração 5 - Erosividade (Fator R) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



Os valores do Fator R encontrados para a área de estudo (Tabela 13) apresentam média próximas aos da classificação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005). O menor valor encontrado foi para o município de Bofete (6.537 MJ.mm/h.ha) e com menor área de abrangência e o maior para o município de Botucatu (7.905 MJ.mm/h.ha), que possuiu a maior ocorrência de área. A Erosividade ocorre principalmente devido ao impacto das gotas de chuva sobre o

solo, bem como pelo escoamento superficial que a própria chuva provoca sobre a superfície. A energia cinética presente na gotícula de chuva é o principal fator que inicia o processo de desagregação das partículas de solo, dessa forma fica evidente a importância da observação deste trabalho para a aplicação práticas conservacionistas de solo na área pertencente ao município de Botucatu por conta deste fator.

Tabela 13 - Abrangência do Fator R nos municípios da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Municípios	Fator R (MJ.mm/h.ha)	Área (ha)	%
Anhembi	7.123	807,33	30,47
Bofete	6.537	535,70	20,22
Botucatu	7.905	1.306,63	49,31
	TOTAL	2.649,66	100

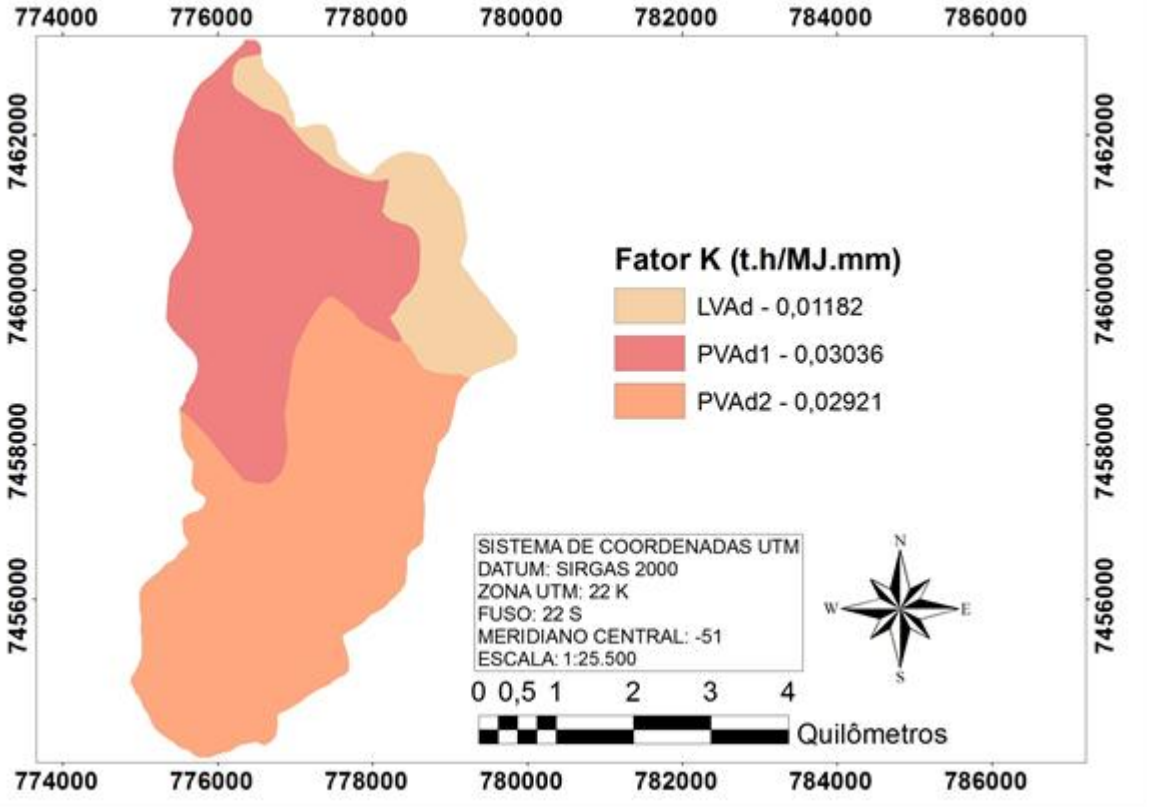
Como as chuvas mais intensas ocorrem nos meses de novembro a março nos municípios presentes na bacia, a medida da pressão exercida da chuva sobre o solo é maior nessa época, portanto, nesse período deve-se atentar para práticas de proteção ao solo que diminuam a velocidade do escoamento superficial, e com atenção especial para a área de Botucatu, devido ao seu valor maior de Erosividade.

Os valores encontrados para o Fator R de uma área nem sempre são iguais aos encontrados em outra, como no caso dos municípios pertencentes a bacia do Córrego Anhumas, isso ocorre principalmente devido as variáveis climáticas que interferem na intensidade, frequência e duração das chuvas. Como o Fator R indica a desagregação do solo e a capacidade da chuva em provocar erosão, as diferenças entre os valores encontrados desse fator para os municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu estão em conformidade com os valores de Fator R encontrados por Demarchi (2012), Machado et al. (2013) e Costa (2014), que também observaram diferenças municipais entre os valores encontrados.

4.1.2 Erodibilidade (Fator K)

A Erodibilidade (Fator K) consiste na capacidade natural que o solo possui em se degradar sem sofrer a ação de agentes externos do meio, espacializada na Ilustração 6.

Ilustração 6 - Erodibilidade (Fator K) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



Costa (2014) atenta para o fato de que o Fator K é uma medida relativa da desagregação natural do solo, ou seja, não reflete o comportamento do uso e ocupação sobre o solo bem como as atividades antrópicas que possam estar envolvidas no meio.

A textura do solo é uma variável que influência diretamente sobre esse fator, aliada também com as chuvas, tem-se a capacidade de infiltração do solo. Os Argissolos possuem maior porosidade que os Latossolos, devido a essa

característica a infiltração das águas das chuvas é maior nesse tipo de solo, porém a sua capacidade de desestruturação das unidades de suas partículas são maiores que as dos Latossolos, fazendo com os Argissolos possuam maior Erodibilidade.

Os maiores valores de Fator K (Tabela 14) ocorreram nos solos PVAd1 e PVAd2, respectivamente, estes solos também possuíram as maiores abrangências de área (87,56 %) dentro da bacia hidrográfica, o que reflete uma maior desestabilização de agregados do solo. Já o solo LVAd possuem maiores teores de argila, o que faz seu valor de Fator K seja inferior ao dos PVAd e permite maior estabilidade das partículas de solo, porém sua abrangência de área na bacia hidrográfica foi menor.

Tabela 14 - Abrangência do Fator K e tipos de solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Solo	Fator K (t.ha/MJ.mm)	Área (ha)	%
PVAd1	0,03036	965,88	36,45
PVAd2	0,02921	1.354,15	51,11
LVAd	0,01182	329,63	12,44
	TOTAL	2.649,66	100

Onde: PVAd1 = Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; PVAd2 = Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico; LVAd = Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

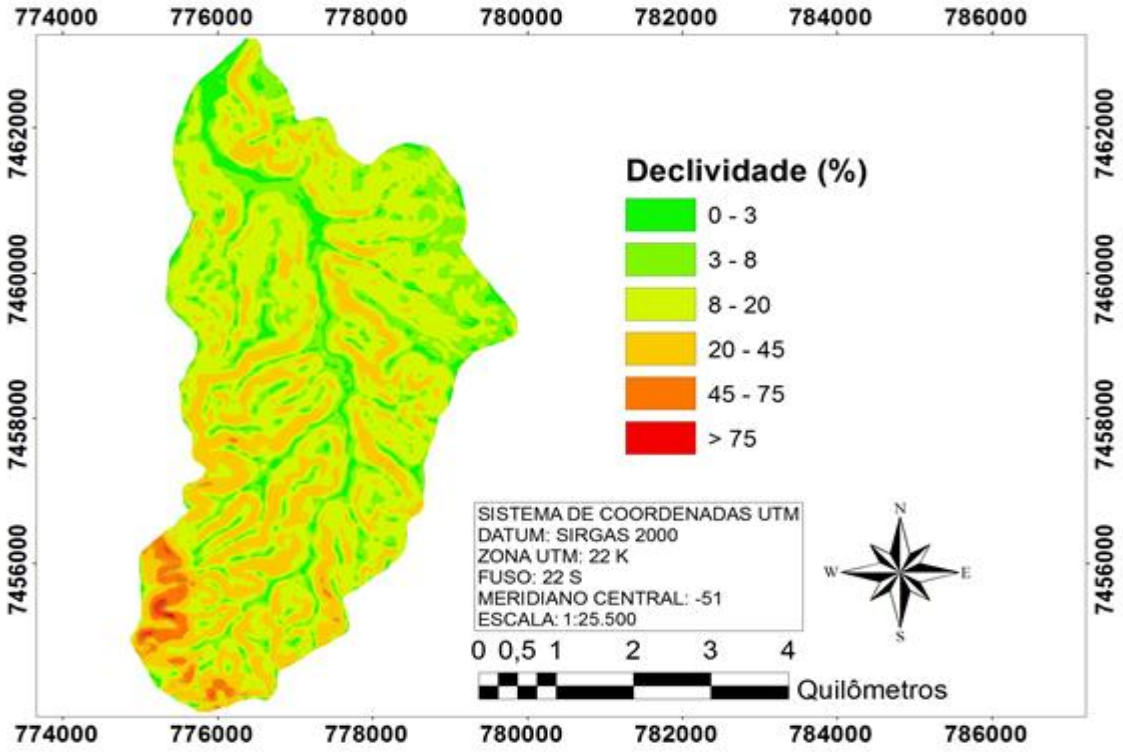
Por possuírem maiores valores de K e maior área de abrangência os Argissolos necessitam de maior atenção no manejo e planejamento dessas áreas, bem como maior proteção de sua superfície do que os Latossolos. Costa (2014) remete a importância de práticas conservacionistas como a aplicação da matéria orgânica e a utilização de plantas que possuam o sistema radicular fasciculado para auxiliar a agregação das partículas nesses tipos de solos com textura mais arenosa, dando-lhes maior sustentação mecânica. A importância de adoção de práticas de manejo conservacionistas nesses tipos de solo é ainda maior visto que estão nas áreas de cabeceira da bacia, onde encontram-se as nascentes dos cursos d’água.

Os valores de erodibilidade dos solos PVAd1, PVAd2 e LVAd utilizados neste trabalho são superiores aos recomendados encontrados na literatura como por Bertoni e Lombardi Neto (2005) em levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo, por sua vez Farinasso et al. (2006) encontrou valores maiores de fator K para os Argissolos na região do Alto Parnaíba (PI/MA). Demarchi (2012) estudando as perdas de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas no município Santa Cruz do Rio Pardo–SP, encontrou os valores de Fator K de 0,0320 para Argissolos e 0,0290 para Latossolos, semelhantes aos valores utilizados neste trabalho. Dessa forma, a estimativa das perdas de solos pelo Fator K também reflete o tipo de solo e denotam a erodibilidade dos Argissolos e Latossolos, principais unidades da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas.

4.1.3 Topografia

4.1.3.1 Declividade

Ilustração 7 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



O mapa de classes de declividade da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas (Ilustração 7), foi interpolado a partir do modelo digital de elevação do terreno. O relevo predominante no Córrego Anhumas é o Ondulado (declividade de 8 a 20 %), seguido pelo Forte Ondulado (declividade de 20 a 45 %) e pelo Suave Ondulado (declividade de 3 a 8 %), que são as classes que possuem maior abrangência de área na bacia, como pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 - Áreas das classes de declive e relevo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

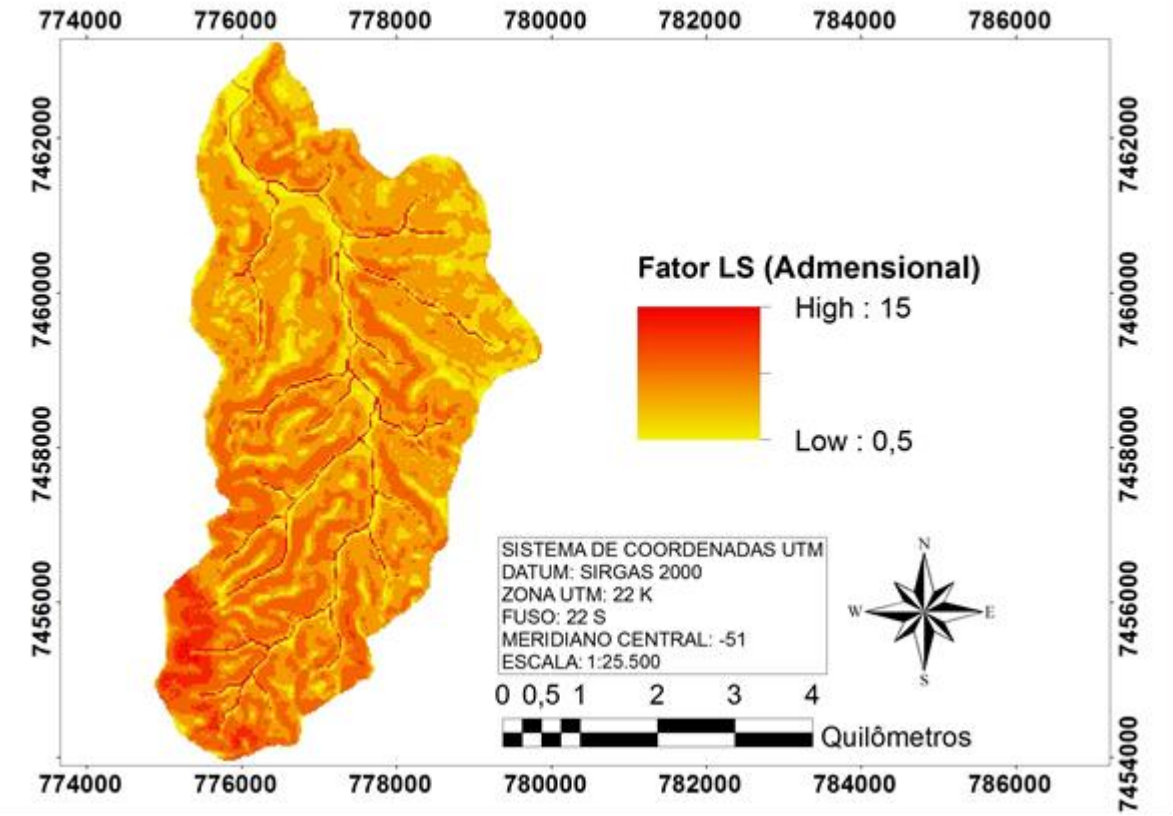
Declividade (%)	Classes de relevo	Área (ha)	%
0 - 3	Plano	157,56	5,95
3 - 8	Suave Ondulado	507,23	19,14
8 - 20	Ondulado	1.295,34	48,89
20 - 45	Forte Ondulado	629,59	23,76
45 - 75	Montanhoso	56,48	2,13
> 75	Escarpado	3,47	0,13
	TOTAL	2.649,66	100

As áreas mais declivosas da bacia com relevo Montanhoso (declividade de 45 a 75 %) e Escarpado (declividade > 75 %), que são as mais restritivas quanto ao uso e ocupação do solo representam menos de 3 % da área total do Córrego Anhumas, enquanto que áreas de relevo plano (declividade de 0 a 3 %) que demandam nenhuma ou práticas simples de controle da erosão, ocupam apenas 5,95 % da área de estudo.

4.1.3.2 Comprimento de rampa e Declividade (Fator LS)

O Fator LS (Ilustração 8), também conhecido como fator topográfico, corresponde ao comprimento da vertente da bacia hidrográfica e a declividade resultante desta superfície.

Ilustração 8 - Fator Topográfico (LS) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



O valor máximo de Fator LS encontrado para a bacia hidrográfica foi de 15 em área com 75 % ou mais de declividade e comprimento de rampa de aproximadamente 700 m, apesar disso, cerca de 94,14 % da área da bacia hidrográfica apresentou Fator LS entre 0 e 1,7 (Tabela 16). A classe com maior representatividade de área foi a de 1 a 1,3 com mais de 50 % da área total da bacia, seguida pelas classes de 1,3 a 1,5 e 0 a 1 respectivamente. Semelhante ao encontrado por Silva (2008), Demarchi (2012) e Costa (2014) valores superiores a 15 distribuem-se em poucos pontos isolados e grupos menores de pixels pela totalidade da bacia hidrográfica.

Tabela 16 - Classes de inclinação do terreno (Fator LS) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Fator LS (Intervalo)	Área (ha)	%
0 - 1	484,33	18,28
1 -1,3	1.341,14	50,62
1,3 - 1,7	668,99	25,25
1,7 - 3,3	77,02	2,91
3,3 - 5,5	29,85	1,13
5,5 - 7,5	25,55	0,96
7,5 - 15	22,77	0,85
TOTAL	2.649,66	100

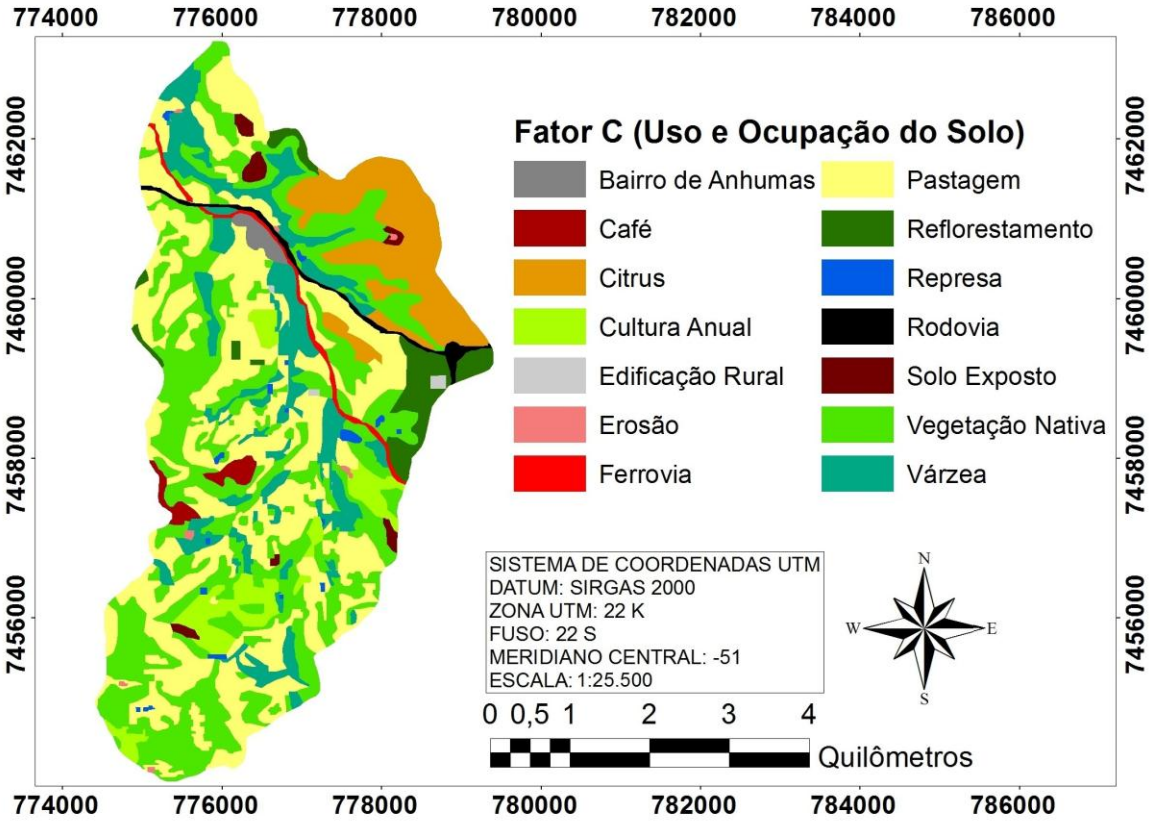
A distribuição espacial, em relação a área, segue próximo aos valores de áreas das classes de declive do Córrego Anhumas, como por exemplo, a classe de 1 a 1,3 de LS possui valores próximos aos da classe de declive de 8 a 20 %, assim como a classe LS de 0 a 1 tem valores próximos aos da classe de declividade de 3 a 8 %, bem como os valores extremos de LS e os de declive ocorrerem em pontos isolados, isso demonstra que essas classes desse fator, praticamente se sobrepõe sobre a declividade, recebendo também maior importância quanto a determinação de práticas ao combate a erosão.

Demarchi (2012) em seu estudo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, encontrou também similaridades entre o Fator LS e a declividade, concluindo que em casos como esse a influência da declividade (Fator S) ser maior que a do comprimento de rampa (Fator L) na determinação do Fator LS. O mesmo autor também afirma que o Fator Topográfico apresenta a maior amplitude de valores que se comprado com os demais, constituindo dessa forma, o fator com maior influência para a obtenção do Potencial Natural de Erosão (PNE) e também consequentemente para o cálculo da RUSLE.

4.1.4 Uso e Ocupação do solo (Fator C)

O Fator C está intimamente relacionado com a influência do uso e ocupação do solo, além do tipo de cobertura vegetal presente na área sobre a dinâmica do processo erosivo, a perda de solo em cada cultivo e tipo de manejo em uma bacia hidrográfica reflete as ações antrópicas, os resultados obtidos (Ilustração 9) semelhante ao encontrado por Gardiman Junior et al. (2012) indicam esta mesma condição.

Ilustração 9 - Uso e Ocupação do solo (Fator C) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



As áreas ocupadas (Tabela 17) por remanescentes de Vegetação Nativa são as que aparecem com maior predominância na bacia com 33,15 % de abrangência, sua forma fragmentada ao longo da área indica que essa formação sofreu pressões

antrópicas (desmatamento) ao longo dos anos, essa formação de é que melhor apresenta efeito na proteção do solo, o que culmina em menores perdas por erosão. O segundo uso predominante é o de Pastagens com 32,31 % de área, em contraste com a Vegetação Nativa, as áreas de Pastagens sem práticas de preservação do solo são as que mais são suscetíveis a processos erosivos, é possível observar que muitas áreas que eram de Vegetação Nativa foram substituídas por Pastagem e em alguns pontos é possível observar processos erosivos acentuados.

Tabela 17 - Classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

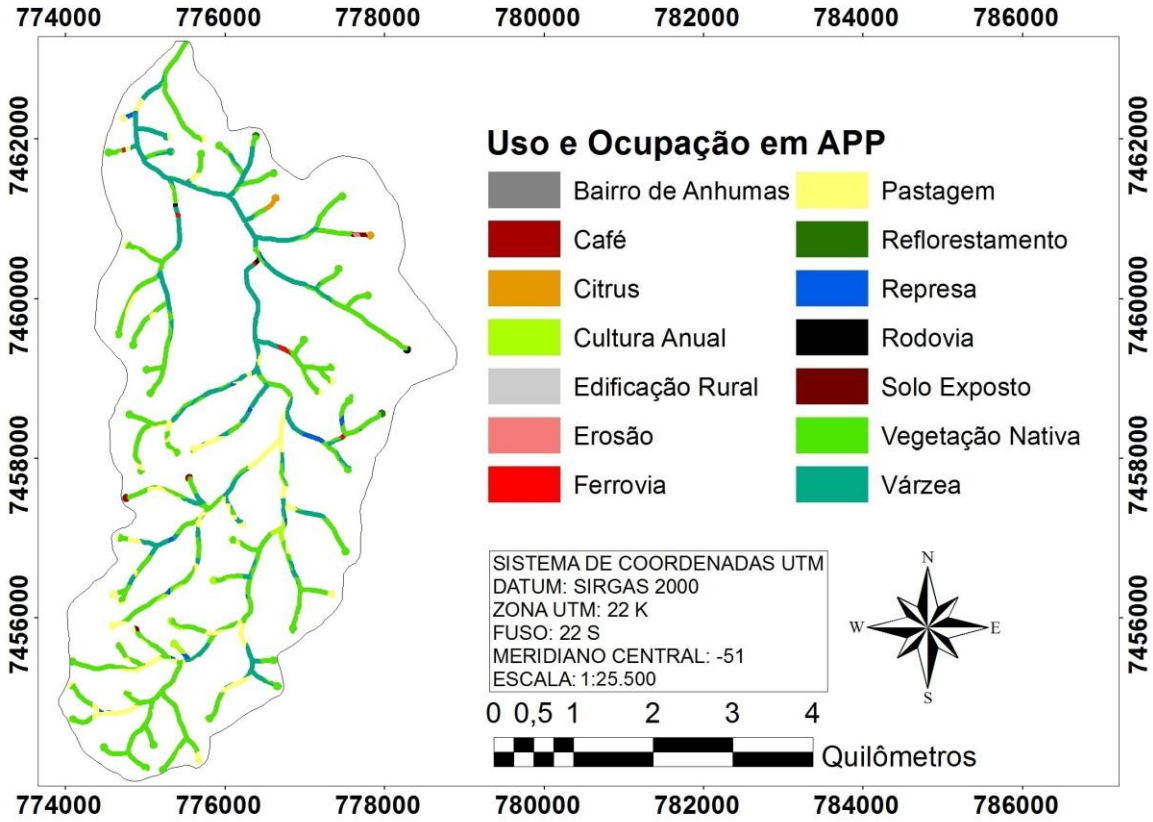
Uso e Ocupação	Fator C (Adimensional)	Área (ha)	%
Bairro de Anhumas	0,0802	17,61	0,66
Café	0,0734	26,18	0,99
Citrus	0,1167	240,78	9,09
Cultura Anual	0,1842	118,43	4,47
Edificação Rural	0,0802	5,15	0,19
Erosão	1,0000	5,08	0,19
Ferrovia	0,1000	27,54	1,04
Pastagem	0,0202	856,12	32,31
Reflorestamento	0,0283	91,46	3,45
Represa	0,0001	14,85	0,56
Rodovia	0,1000	31,15	1,18
Solo Exposto	0,9900	26,92	1,02
Várzea	0,0004	309,93	11,70
Vegetação Nativa	0,0009	878,45	33,15
TOTAL		2.649,66	100

As áreas de Várzea (11,70 %) também aparecem com destaque na bacia hidrográfica, essa ocupação do solo é de ocorrência natural e ocupa principalmente

as porções mais baixas e próximas a foz da bacia, ao longo da rede de drenagem, essas áreas possuem como características o terreno alagadiço, são como uma zona de transição da Vegetação Nativa, que também tem predomínio ao longo da drenagem, até os cursos d'água e oferecem pouca perda de solo devido a suas características.

Por sinal, a situação ambiental do Córrego Anhumas é bem próxima do ideal, 44,85 % de sua área é coberta por vegetação de ocorrência natural (Nativas e Várzea). Com relação as Áreas de Preservação Permanente (APP) hídricas - Ilustração 10 -, que possuem importante papel de proteção dos cursos d'água, por meio de sua vegetação ciliar contra agentes erosivos.

Ilustração 10 - Uso e Ocupação em APP na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



As APP de acordo com o Código Florestal (Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 e Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012) devem ser ocupadas em sua integralidade por vegetação ciliar nativa, salvo exceções como as áreas rurais consolidadas. As APP do Córrego Anhumas (Tabela 18) possuem área de 343,27 ha e a sua realidade é próxima do ideal, pois 78,90 % de sua área está coberta por vegetação de ocorrência natural (Nativas e Várzea), fazendo importante papel ambiental como barreira de agentes externos contra as nascentes e cursos d'água da bacia hidrográfica, ajudando na diminuição do fluxo superficial da chuva, na melhoria da infiltração de água e impedindo o assoreamento da rede de drenagem.

Tabela 18 - Uso e ocupação do solo em APP na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Uso e Ocupação	Área (ha)	%
Bairro de Anhumas	0,01	0,003
Café	0,97	0,28
Citrus	2,90	0,84
Cultura Anual	6,60	1,92
Edificação Rural	0,03	0,01
Erosão	0,47	0,14
Ferrovia	1,98	0,58
Pastagem	51,14	14,90
Reflorestamento	0,86	0,25
Represa	5,50	1,60
Rodovia	1,00	0,29
Solo Exposto	0,99	0,29
Várzea	86,39	25,17
Vegetação Nativa	184,44	53,73
TOTAL	343,27	100,000

O principal uso que se tem nessas áreas é o de Pastagem (14,90 ha), do restante pequenas área de abrangência e como não se sabe se tem ocorrência de áreas consolidadas na bacia, pode-se afirmar que ela está em conformidade com a legislação ambiental vigente, que regulamenta a preservação da vegetação nativa nas APP e nas faixas marginais de qualquer curso d'água natural, de largura variável conforme a largura destes rios e a partir da borda da calha do leito regular, ao entorno de reservatórios de água naturais e artificiais.

Com relação as culturas do Citrus (9,09 %), Reflorestamento (3,45 %) e as Anuais (4,47 %) também aparecem com certo destaque na bacia e juntamente com a Pastagem formam áreas de influência antrópica, que podem, dependendo do manejo empregado oferecerem maior ou menor proteção ao solo, tal constatação é demonstrada segundo os dados obtidos por Rodrigues et al. (2013). Nesses tipos de usos do solo é de fundamental importância a adoção de práticas de caráter conservacionistas devido ao risco de erosões, principalmente por exporem o solo e devido sua ação de cobertura. Nesse sentido, as áreas com Culturas Anuais merecem maior destaque, pois embora cultivadas geralmente em rotação com outras culturas e adotando o plantio direto ou o preparo reduzido do solo, devido a sua periodicidade de exposição e revolvimento do solo, caso tais técnicas não sejam empregadas podem implicar em grandes perdas por processo erosivo.

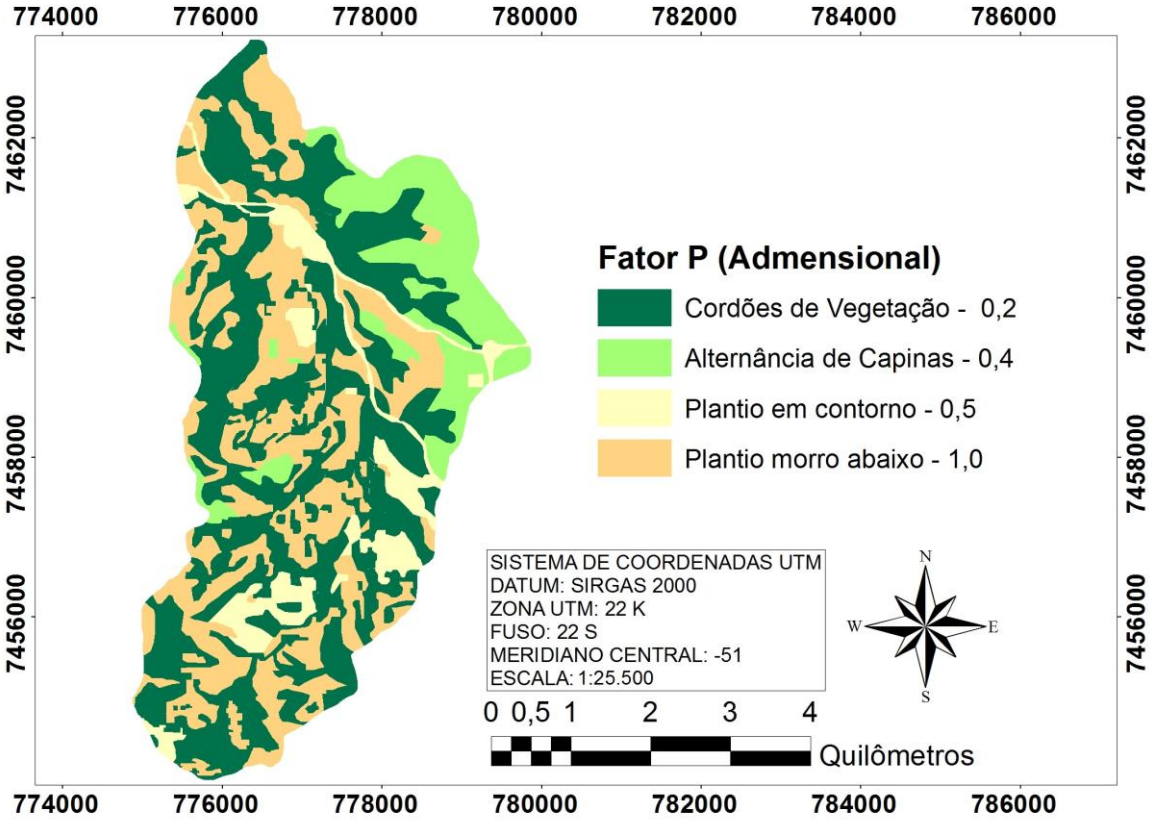
Na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas, há um pequeno trecho urbano correspondente ao Bairro de Anhumas (0,66 %) pertencente ao município de Botucatu-SP e juntamente com a Rodovia (1,18 %) formam áreas com o solo impermeabilizado, porém em suas bordaduras, caso não ocorra medidas de condução das águas das chuvas é possível o risco de erosão nessas áreas.

Por fim, as áreas que apresentam maiores riscos de perdas de solo são as de solo exposto (1,02 %) e as áreas em que já possui o processo erosivo (0,19 %) instalado, que devido a superexposição do solo tendem a sofrer ou agravar processos erosivos já iniciados, porém ocorrem em pequenas áreas na bacia e sua contenção e recuperação podem ser possíveis ainda se adotadas práticas de recobrimento vegetal dessas áreas.

4.1.5 Práticas conservacionistas de solo (Fator P)

As práticas de caráter conservacionista (Ilustração 11) do solo constituem um importante fator antrópico, que possibilita a diminuição das perdas por erosões em áreas agricultáveis. As práticas observadas na bacia hidrográfica foram classificadas de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005).

Ilustração 11 - Práticas conservacionistas de solo (Fator P) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



A prática que apresenta maior abrangência de área na bacia é a de Cordões de Vegetação (45,41 %) - Tabela 19 -, não surpreende esse valor encontrado, devido à grande presença de áreas com Vegetação Nativa e Várzea no Córrego Anhumas e também por essas práticas de conservação serem praticamente compostas por áreas com vegetação natural, ficando com o menor valor de Fator P

(0,2). Dessa forma, fica evidenciada a importância dessa prática e também a da vegetação nativa para o controle de perdas de solo em sistemas como as bacias hidrográficas. Importante salientar também a presença dos Cordões de Vegetação e consequentemente a presença de Vegetação Nativa na área de cabeceira da bacia hidrográfica, que é o local com maior acúmulo de nascentes e com declividade superior a 45 %, o que faz com que as perdas por erosão nessa parte superior da bacia que teoricamente deveriam ser maiores sejam menores, apesar da grande influência do Fator Topográfico.

Tabela 19 - Práticas conservacionistas de solos presentes na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Práticas Conservacionistas	Fator P (adimensional)	Área (ha)	%
Plantio morro abaixo	1,0	848,68	32,03
Plantio em contorno	0,5	239,33	9,03
Alternância de capinas	0,4	358,42	13,53
Cordões de vegetação	0,2	1.203,23	45,41
TOTAL		2.649,66	100

O Plantio em morro abaixo também aparece com destaque na área de estudo (32,03 %), nessa classe há ausência de práticas conservacionistas de solo e também não há preocupação com o sentido de plantio. Grande parte dessa classe é composta quase que exclusivamente por áreas com Pastagem degradadas e com declividade na faixa de 8 a 20 %, fazendo com que possua o maior valor de Fator P (1,0). Também nessas áreas por apresentarem essas características é possível observar processos erosivos já instalados. Com todas essas informações essa é a classe em que se deve ter o maior cuidado no planejamento e adoção de práticas conservacionistas como terraceamento e plantio em nível são de grande importância para a contenção das perdas de solo e controle dos processos erosivos já instalados.

As áreas com Plantio em contorno e com Alternância de capinas totalizam 9,03 % e 13,53 %, respectivamente da área da bacia e são compostas pelas culturas propriamente ditas como: Culturas Anuais, Citrus, Café e Reflorestamento. Essas áreas de cultivo receberam os valores intermediários de Fator P (0,5 para Plantio em contorno e 0,4 para Alternância de capinas), pois apesar de serem cultivadas com práticas de caráter conservacionista do solo, ainda possuem certa exposição do solo nas entrelinhas quando ainda em estágios iniciais de desenvolvimento, e também por estarem concentradas em locais onde a faixa de declividade varia de 8 a 45 %, além das culturas anuais que por periodicidade de tempo ficam com o solo exposto por determinados períodos de rotação ou descanso do solo.

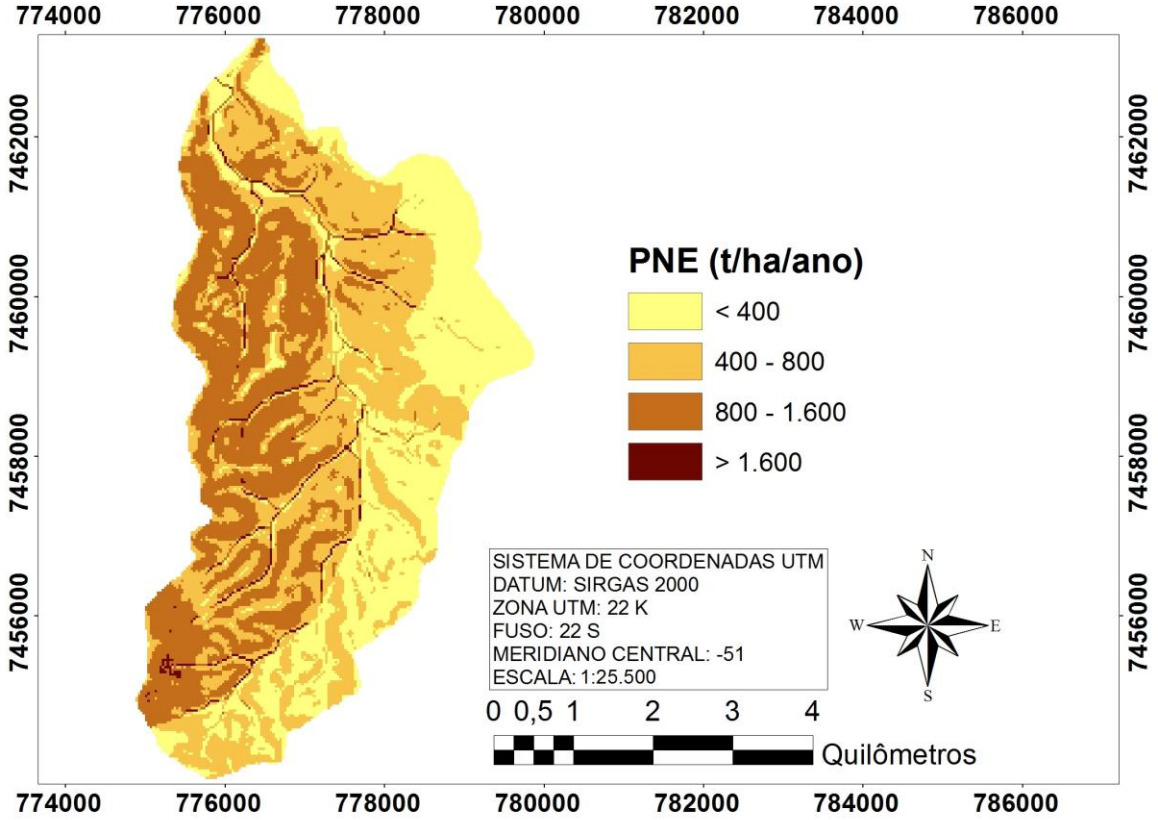
4.1.6 Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE) - Tabela 20 e Ilustração 12 - consiste na avaliação dos fatores abióticos da RUSLE (Erosividade, Erodibilidade e Topografia), ou seja, aqueles que não sofrem influência antrópica e são naturais do ambiente, por meio do produto entre os três fatores é possível então obter o PNE de determinada localidade.

Tabela 20 - Classes de PNE da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Classes de PNE	Intervalo (t/ha/ano)	Área (ha)	%
Fraco	< 400	775,67	29,27
Moderado	400 - 800	1003,91	37,89
Forte	800 - 1600	827,58	31,23
Muito Forte	> 1600	42,50	1,61
TOTAL		2.649,66	100

Ilustração 12 - Potencial Natural de Erosão (PNE) da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



A bacia hidrográfica do Córrego Anhumas apresenta a classe de PNE Moderado como a mais abrangente dentro da bacia hidrográfica (37,89 %) e ocorreu de forma distribuída pela bacia, seja pelo quesito da Erosividade, Erodibilidade ou Topográfico, apenas com restrição na área de presença de Latossolo Vermelho-Amarelo. Nessa área, a grande predominância é da Classe de PNE Fraco (29,27 %), fica claro a influência dos Latossolos (0,01182 t.h/MJ.mm) nesse resultado, devido principalmente à sua textura mais argilosa que resulta em valor mais baixo de Erodibilidade, se comparada com a dos Argissolos (0,03036 e 0,02921 t.h/MJ.mm respectivamente) presentes na área de estudo, a Classe Fraco também aparece em destaque com a Moderado na área da bacia com menor valor de Erosividade, pertencente ao município de Bofete-SP (6537 MJ.mm/h.ha).

A segunda classe de PNE em abrangência de área é a Forte (31,23 %), que ocorre principalmente na área de maior valor de Erosividade, pertencente ao

município de Botucatu-SP (7905 MJ.mm/h.ha), também onde estão as áreas mais declivosas da bacia, variando de 20 % até valores superiores a 75 % e também neste local há predomínio dos Argissolos, que possuem textura mais arenosa, todos essas características com maior indícios de ocorrência de processos erosivos levam a um PNE variando na faixa de 800 a 1.600 t/ha/ano. Com relação a classe de PNE Muito Forte, é a que possui menor abrangência (1,61 %), estão situadas principalmente próximas a cursos d'água nas porções central, norte e noroeste da bacia hidrográfica, possuem declividade em geral variando entre 12 a 40 %, sendo este o principal fator de aumento da predisposição à erosão e que leva a esta classificação com perdas superiores a 1.600 t/ha/ano.

Mais de metade da área da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas (67,16%) está entre as classes de PNE Fraco e Moderado, que de acordo com Silva (2008) em seu estudo com o Potencial Natural de Erosão no município de Sorocaba-SP, está dentro do limiar médio, considerado o ideal para a erosão em potencial de determinada localidade. Demarchi (2012) utilizando-se da mesma classificação, encontrou resultados semelhantes de uma menor predisposição natural para a ocorrência de erosões em casos como esses. Dessa maneira, com a utilização de práticas mais simples principalmente de caráter edáfico é possível administrar as possíveis perdas para essas classes de PNE.

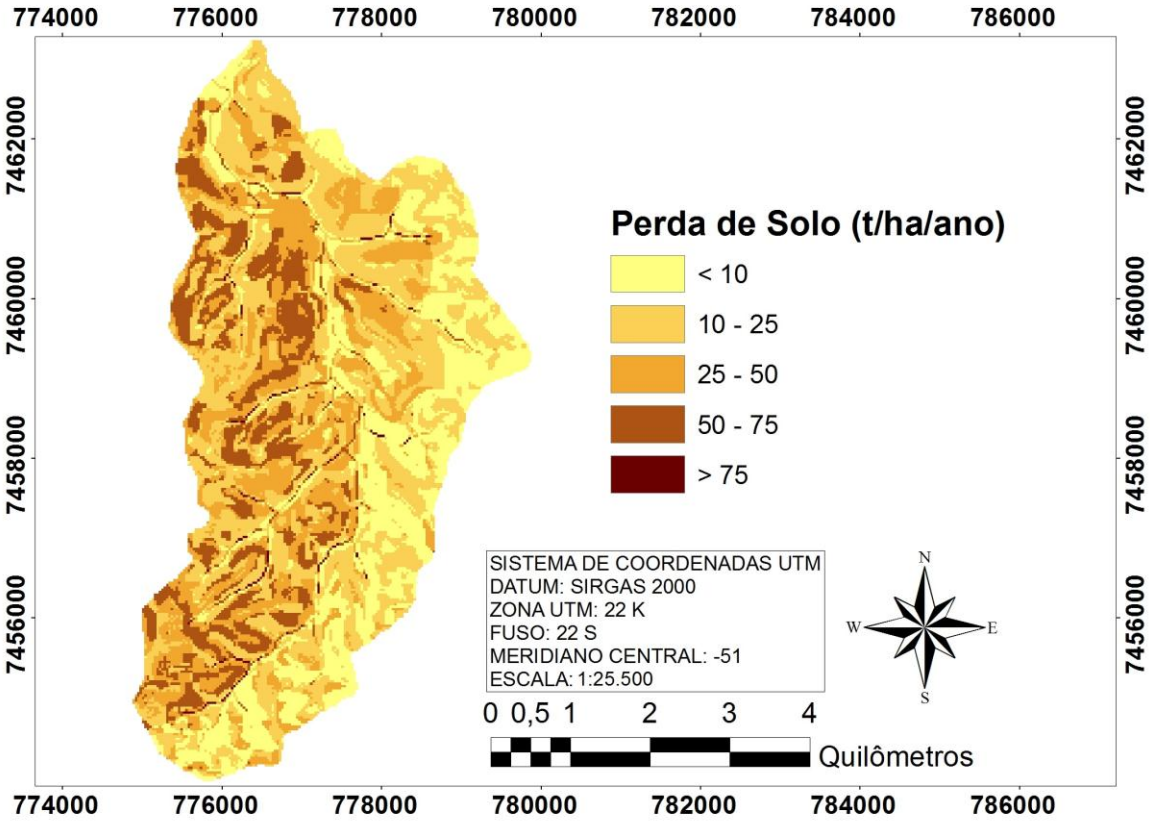
As maiores atenções devem ser voltadas para as classes Forte e Muito Forte, que se somadas representam 32,84 % da área da bacia e principalmente por se concentrarem em áreas com maiores declividades, maior valor de Erosividade e também com solos de textura mais arenosa. Para tais áreas adoções de práticas mecânicas e edáficas são as melhores soluções para que não se atinja o potencial máximo de predisposição a erosões que essas localidades possuem.

De uma maneira geral, observa-se uma maior influência do Fator LS nas localidades com maiores valores de PNE (classes Forte e Muito Forte), com relação aos demais fatores como Erosividade e Erodibilidade. Silva (2008) e Demarchi (2012) também encontraram resultados semelhantes aos observados para o Córrego Anhumas, evidenciando que a declividade e o comprimento de rampa em conjunto (Fator LS) têm um maior poder explicativo sobre a constituição do PNE em áreas de valores mais elevados.

4.1.7 Perda média anual de solo (Modelo RUSLE)

O modelo de perdas de solo da RUSLE, engloba além dos fatores empregados no PNE (Fator R, Fator K e Fator LS), que são os abióticos ou naturais do meio, também engloba os fatores antrópicos (Fator C e Fator P) condicionantes de erosão, que de alguma maneira possuem a influência humana. Na Ilustração 13 é possível observar o produto dos cinco fatores que formam a RUSLE divididos em classes de perdas de solo.

Ilustração 13 - Modelo RUSLE da perda anual média de solos da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



A classe de perda de solo (Tabela 21) de maior representatividade, corresponde a classe Moderada (10 a 25 t/ha/ano) com 36,74 % de abrangência, seguida pela classe Nula (0 a 10 t/ha/ano) com 24,30 % da área total. Essas duas

classes de perdas, com as menores taxas de erosão, se somadas representam 61,04 % da bacia, semelhante ao encontrado para o PNE que possui 67,16 % representado pelas classes Fraco e Moderado que também são as de menores perdas e também semelhante ao PNE possuem distribuição ampla pela área da bacia hidrográfica. Este fato também foi observado por Demarchi (2012), estudando as perdas de solo da sub-bacia do Ribeirão das Perobas em Santa Cruz do Rio Pardo-SP e evidencia que os Fatores C e P (antrópicos) da RUSLE estão colaborando com a redução da taxa de erosão na bacia hidrográfica em mais de metade de sua totalidade conservando o solo e recursos hídricos da área.

Tabela 21 - Classes de perdas de solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Classes de perda de solo	Intervalo (t/ha/ano)	Área (ha)	%
Nula	< 10	643,83	24,30
Moderada	10 - 25	973,43	36,74
Média	25 - 50	623,72	23,53
Média Forte	50 - 75	392,86	14,83
Forte	> 75	15,82	0,60
TOTAL		2.649,66	100

Também é possível observar áreas que possuem valores de PNE mais elevados (800 a 1.600 t/ha/ano) e que têm perdas médias de solo nas classes Nula (0 a 10 t/ha/ano) e Moderada (10 a 25 t/ha/ano), situadas principalmente próximas a cursos d'água na porção final da bacia (próxima a foz) e que possuem classe de declividade entre 12 a 40 %, porém nessas áreas há grande presença de Vegetação Ciliar (Nativas é Várzea), que colaboram para a diminuição das perdas de solo. Este resultado é semelhante ao encontrado por Paes et al. (2010) em estudos com bacias hidrográficas do município de Santa Rita do Sapucaí–MG, onde áreas com vertentes mais íngremes e, portanto, com maior PNE possuíram áreas cobertas por Vegetação Nativa, que também contribuíram para a diminuição de perdas de solo por erosão hídrica nessas bacias.

Ainda com relação as classes Nula e Moderada, muito de sua representatividade no Córrego Anhumas se deve ao fato da boa presença de remanescentes de Vegetação Nativa, sendo usados como Cordões de Vegetação (prática de conservação de solo) para a proteção de solo e água. As APP da bacia hidrográfica também merecem destaque, pois em sua grande totalidade estão cobertas por Vegetação Ciliar Nativa, cumprindo seu papel ambiental de barreira física contra o escoamento superficial e a partículas de solo desprendidas, comprovando a eficiência dessa faixa de proteção aos recursos hídricos instituída na legislação brasileira.

As culturas do Café, Citrus, Reflorestamento e Anuais, cultivadas em linhas e/ou com alternando capinas também contribuíram para as menores perdas de solo, principalmente nas áreas com menor Erosividade nas porções mais baixas do terreno e final da bacia, nesse caso também fica evidenciado a importância de se aliar culturas com práticas de conservação do solo, mesmo em áreas de menor declividade onde se é comum cultivar morro abaixo.

A classe Média (25 a 50 t/ha/ano) é a terceira em ordem de área com 23,53 % do total, nessas áreas se tem grande quantidade de áreas cobertas com Pastagens sem a adoção de práticas conservacionistas de solo (plantio morro abaixo), algo comum na bacia do Córrego Anhumas, ocorrendo em áreas com declives acentuados, onde a textura do solo é mais arenosa e com maior valor de Erosividade nas porções Oeste e Sul da Bacia. Essas áreas apesar da perda mediana, estão em áreas com PNE moderado (400 a 800 t/ha/ano), o que de acordo com Silva (2008) está dentro do limiar médio considerado ideal para perdas de solo em dada localidade. Com tudo, para tais áreas precauções contra as perdas de solo como construções de terraços com camalhões, para a diminuição do fluxo superficial é o ideal devido principalmente nas áreas com Argissolos e de maior Erosividade (7905 MJ.mm/h.ha) para facilitar a infiltração pelo perfil da área.

As classes Média Forte (50 a 75 t/ha/ano) e Forte (> 75 t/ha/ano), correspondem a 14,83 % e 0,60 % da área da bacia hidrográfica respectivamente, mas apesar de menores abrangências são as que merecem maior destaque com relação a perdas de solo por erosão. Os locais de ocorrência da classe Média Forte, são basicamente áreas com declividades mais elevadas, com o maior valor de

Erosividade e também com a presença de Argissolos. Enquanto que semelhante a classe de PNE Muito Forte (> 1.600 t/ha/ano), que ocorreu em classes de declive variando entre 12 a 40 %, a classe de perda de solo Forte apresentou praticamente a mesma distribuição. Valle Junior et al. (2010) e Costa (2014) encontraram resultados semelhantes para as perdas de solo mais elevadas e associam a distribuição espacial da suscetibilidade à erosão com o relevo da região, onde as classes de perdas com valores acima de 50 t/ha/ano localizam-se nas regiões com declives mais acentuados, devido principalmente à elevação da declividade que colabora com a suscetibilidade à erosão nessas áreas.

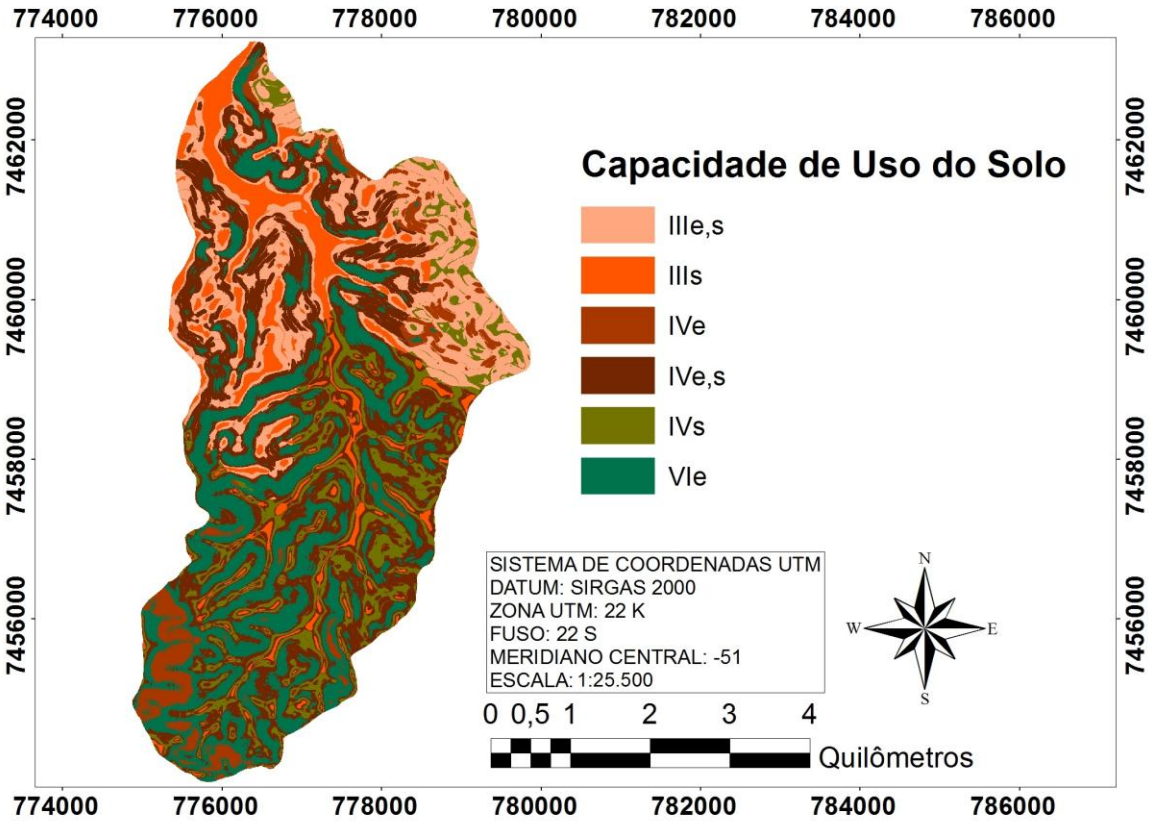
Dessa forma, apenas 15,43 % da área da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas pertencem as classes Média Forte e Forte, que estão fora do limite médio considerado ideal para perdas de solo. Nessas áreas, principalmente devido ao maior valor de declividade e Erosividade é de fundamental importância a adoção de práticas conservacionistas como o plantio em nível e utilização de terraços, além de cordões de vegetação nativa para a diminuição do fluxo de escoamento superficial e consequentemente o transporte de partículas de solo dessas regiões para as mais baixas.

E apesar de bem preservada com relação a Vegetação Nativa e de possuir pouca área sob grandes riscos, é de fundamental importância para o correto funcionamento ambiental da bacia do Córrego Anhumas, que essas áreas sejam cultivadas de acordo com o que é considerado ideal de manejo no que tange a diminuição das perdas de solo por erosão, para que se obtenha a conservação de solo e água integral dessa região. Dessa forma, se faz necessário desenvolver uma proposta de ocupação racional da bacia, sob a ótica conservacionista de manejo, nesta área praticamente agrícola, com o incremento de áreas com vegetação nativa e a consciência de conservar e restaurar as APP da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas.

4.2 Subclasses de capacidade de uso do solo

A identificação das subclasses de capacidade de uso do solo do Córrego Anhumas (Ilustração 14) ocorreu por meio do cruzamento dos mapas de declividade e solos da bacia hidrográfica. No caso, as subclasses de capacidade de uso irão apontar quais são os melhores usos, ou restrições para a área de estudo de acordo com essas variáveis analisadas.

Ilustração 14 - Subclasses de capacidade de uso do solo para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



No total para a bacia do Córrego Anhumas foram identificadas três classes de capacidade de uso e seis subclasses de capacidade (Tabela 22). Na classe III estão reunidas segundo a classificação de Lepsch et al. (1991), áreas ideais para lavouras em geral, porém com riscos de depauperamento quando forem cultivadas sem

manejo correto, principalmente para culturas anuais, nesse caso, requerendo medidas intensas a complexas de conservação do solo para que possam ser cultivadas e forma segura e constante. A subclasse IIIe,s ocupa 17,82 % da área da bacia hidrográfica e consistem em terras que podem ser utilizadas para fins agrícolas, desde que cultivadas com cuidados especiais, como práticas conservacionistas de solo de caráter vegetativo, edáfico e mecânico, pois apresenta limitações por problemas de solo (baixa fertilidade natural) e erosões. Essa subclasse ocorre tanto em áreas com LVAd quanto com PVAd1, com declividade variando de 8 a 20 %. Em locais da classe IIIe,s tem-se principalmente usos de Citrus e Pastagem, sendo esse último uso conflitante com a classe, pois a grande maioria das áreas de Pastagem da bacia não utilizam de práticas conservacionistas de solo.

Tabela 22 - Subclasses de capacidade de uso do solo para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Subclasses	Área (ha)	%
IIIe,s	472,15	17,82
IIIs	244,59	9,23
IVe	153,45	5,79
IVe,s	854,54	32,25
IVs	325,17	12,27
VIe	599,77	22,64
TOTAL	2.649,66	100

Outra subclasse pertencente a mesma classificação é a IIIs, que possui 9,23 % de área na bacia. São terras com problemas complexos de conservação e/ou de manutenção, para tais áreas é recomendado práticas de conservação do solo com destaque para as de caráter edáfico, pois sua limitação é relativa à fertilidade natural do solo, não apresentando maiores restrições quanto à ocupação por culturas agrícolas. Essa subclasse de uso e ocupação ocorre nas áreas de menor

declividade da bacia hidrográfica (0 a 3 %) e nas áreas de Argissolos. Por ocuparem as regiões mais baixas da bacia, estão ocupadas principalmente por Vegetação Nativa e Várzea, como não há uso nessas áreas, estas estão de acordo com a classificação de Lepsch et al. (1991).

Dentro da classe IV de capacidade de uso do solo estão as áreas que possuem riscos ou limitações permanentes severas quando utilizadas para culturas, principalmente as anuais. Em tais áreas os solos têm fertilidade natural boa ou razoável, porém não são adequados para cultivos intensivos e contínuos, sendo melhor utilizado por culturas perenes e pastagens com terraços (LEPSCH et al., 1991). A subclasse IVe ocorre em 5,79 % da bacia hidrográfica e é caracterizada por serem severamente limitadas por grande risco de erosão para cultivos intensivos, geralmente com declividades acentuadas, com deflúvio muito rápido, podendo apresentar erosão em sulcos muito frequentes. O ideal para estas áreas é que nunca fiquem desprovidas de cobertura, sendo as práticas de caráter vegetativo as mais adequadas para a proteção do solo. Como culturas nessas áreas tem-se Café, Citrus e Pastagem, sendo dessas apenas as Pastagens por serem degradadas e não apresentarem práticas de conservação de solo não estão de acordo com a classificação proposta por Lepsch et al. (1991) em relação aos fatores limitantes.

Já a subclasse IVe,s é a de maior abrangência dentro da bacia hidrográfica com 32,25 %, estando presente em localidades com Argissolos e Latossolos e com diferentes classes de declive. Essa classe apresenta limitações quanto a erosão principalmente em áreas de relevo forte ondulado e também em locais adjacentes à classe IVs, e apresenta também restrições quanto ao solo devido principalmente a profundidade efetiva e pedregosidade. Por ser a mais abrangente em área, possui quase todos os usos e ocupações, porém como há áreas com culturas anuais e pastagens sem práticas de caráter conservacionista, onde o ideal de acordo com a classificação proposta por Lepsch et al. (1991) seria a presença de terraços nivelados, pois não deixam o solo vulnerável à erosão, sobretudo em sulcos decorrentes do escoamento concentrado da água e deflúvio rápido em função da profundidade baixa.

A subclasse IVs está presente em 12,27 % da área da bacia hidrográfica e possui restrições quanto ao solo principalmente pela profundidade efetiva rasa e

apresentando pedregosidade, embora sua fertilidade natural aparente seja alta. Estas características causam problemas relativos quanto à mecanização. Nessas áreas os solos podem apresentar ainda problemas de baixa capacidade de retenção de água e sendo que práticas de caráter vegetativo e edáfico são as mais adequadas para a proteção desses solos sob a ótica conservacionista, apesar das dificuldades que eles oferecem ao manejo principalmente mecanizado (LEPSCH et al., 1991). Nesta subclasse também há a ocorrência de diversos usos e ocupações do solo, com destaque para a Vegetação Nativa e Várzea que ajudam na proteção do solo nessas áreas.

Por fim, a última classe de capacidade de uso do solo com ocorrência na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas é a VI, que segundo Lepsch et al. (1991) corresponde a áreas consideradas impróprias para culturas anuais e perenes sendo mais destinada para usos como pastagens, florestamentos e reflorestamentos.

Esta classe é representada pela subclasse VIe, que é a segunda em abrangência de área com 22,64 %, a principal restrição dessas áreas é que por serem medianamente suscetíveis à erosão podem chegar a sulcos profundos e frequentes, também possui dificuldades severas quanto à mecanização devido as condições topográficas, sendo mais apropriadas para pastagens desde que corretamente manejadas, com práticas adequadas para a conservação do solo e com culturas perenes protetoras como reflorestamentos e também a vegetação nativa para a proteção do solo e recursos hídricos. Esta subclasse ocorreu em todas as unidades de solo da bacia e nas classes de declive superiores a 45 %, quanto ao uso os destaques são para a Vegetação Nativa, Várzea, Pastagens sem práticas de conservação de solo e Culturas Anuais, sendo essas duas últimas não estando em conformidade com a classificação de Lepsch et al. (1991) devido aos riscos que oferecem a erosão do solo.

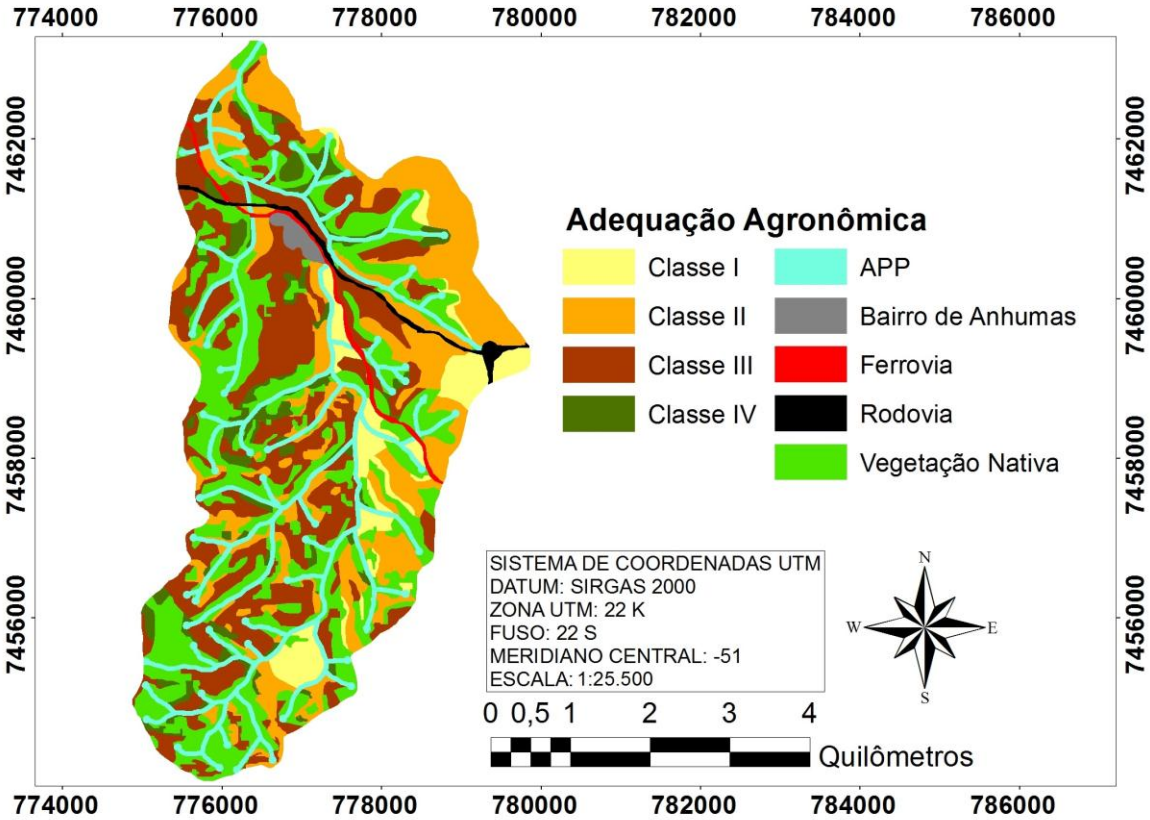
4.3 Adequação agronômica do Córrego Anhumas

A adequação agronômica do Córrego Anhumas consistiu no cruzamento dos Mapas da perda de solos com o das subclasses de capacidade de uso do solo,

dessa forma, aliando uma problemática real na bacia que são as perdas por erosão com as subclasses, que de acordo com o tipo de solo e declividade informa o melhor uso em teoria para uma dada área.

A adequação (Ilustração 15) também levou em consideração usos e estruturas consideradas como imutáveis dentro da bacia hidrográfica devido a sua importância ambiental, social e econômica como as áreas de APP, os remanescentes de Vegetação nativa, o Bairro rural de Anhumas pertencente ao município de Botucatu-SP, a Rodovia Marechal Rondon (SP-300 e SP-147) e a Ferrovia (Estrada de Ferro Sorocabana).

Ilustração 15 - Adequação agronômica da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.



A adequabilidade (Tabela 23) então foi dividida em quatro classes (I a IV), com diferentes culturas desde as de uso mais restritivo como as anuais que revolvem expõem mais os solos até as protetoras como reflorestamentos e até

mesmo o plantio de nativas nas áreas com maiores riscos, além dos usos considerados como imutáveis na bacia hidrográfica. A escolha dos tipos culturas de cada classe também levou em consideração a identidade das culturas presentes na bacia hidrográfica do Córrego Anhumas.

Importante salientar a presença dos remanescentes de Vegetação Nativa (26,19 %) e das APP (12,96 %), pois como foi observado nas perdas média de solo do Córrego Anhumas a importância desses usos na diminuição das perdas por processos erosivos, dessa forma, a classificação considerou a manutenção de todos os remanescentes e as APP cobertas em sua totalidade também com nativas e sem a presença de usos conflitantes, que são poucos na bacia, para a proteção integral da rede de drenagem, para não afetar sua demanda hídrica. Demarchi (2012) em estudo com o uso e manejo do solo adequados à capacidade de uso na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, também destaca a importância da manutenção da Vegetação Nativa e das APP em conformidade com a legislação ambiental brasileira para melhorar a adequação e reduzir as perdas por erosões.

Tabela 23 - Adequabilidade agronômica da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

Classes de adequação	Área (ha)	%
Classe I	156,06	5,89
Classe II	559,80	21,13
Classe III	673,86	25,43
Classe IV	146,36	5,52
APP	343,27	12,96
Bairro de Anhumas	17,61	0,66
Ferrovia	27,54	1,04
Rodovia	31,15	1,18
Vegetação Nativa	694,01	26,19
TOTAL	2.649,66	100

A Classe I, que apresenta 5,89 % de área da bacia hidrográfica é composta pelas áreas com menores perdas de solo (0 a 10 t/ha/ano), com declividade plana a suave ondulada e que pelas subclasses de capacidade de uso podem ser ocupadas por diversas culturas, por essas características, a Classe I fica destinada ao plantio por qualquer cultura, com destaque para as Culturas Anuais utilizando técnicas conservacionistas de solo como cultivo mínimo, com terraceamento e em curvas de nível, dessa forma, pode-se obter culturas com ciclo menor e maior rentabilidade nesses locais com características próprias para essas plantações e com perdas mínimas de solo por erosão.

A Classe II, a segunda em abrangência com 21,13 % da bacia é composta por áreas com perdas maiores de solo (10 a 25 t/ha/ano) que a classe anterior, com relevo suave ondulado a ondulado e que de acordo com as subclasses de capacidade de uso apresentam restrições quanto a culturas anuais, dessa maneira, na Classe II fica a destinação do uso e ocupação para culturas perenes como Café, Citrus, Pastagens e Reflorestamentos. Com destaque para as duas primeiras que possuem identidade com as culturas presentes na região e pelo relevo mais plano, que facilita o manejo mecanizado e que se cultivadas com manejo e práticas adequadas irão possuir perdas mínimas por erosão e contribuirão para a proteção do solo e água na bacia hidrográfica.

Enquanto que a Classe III é a maior em totalidade com 25,43 % de área, para essa classe as perdas de solo estão no limite tolerável (10 a 50 t/ha/ano) e predominância do relevo ondulado, essas áreas pelo critério das subclasses de capacidade de uso são restritivas a certas ocupações de solo. Nesse caso, as melhores culturas para tais áreas aliando aspecto econômico e a conservação de solo e água são aquelas consideradas protetoras, por recobrirem bem o solo como as Pastagens, para gado de leite ou corte e os Reflorestamentos principalmente com eucaliptos, porém como nos outros casos com a adoção de técnicas conservacionistas de solo, devido a maior possibilidade de erosões nessas áreas em função das características apresentadas.

Já a Classe IV que apresenta 5,52 % de abrangência, possui as maiores perdas de solo (> 50 t/ha/ano), essa área pelo critério das subclasses de capacidade de uso são as mais restritivas em relação a ocupação do solo. Para tais locais,

principalmente pelas possíveis perdas de solo com maior intensidade, a melhor destinação e sua não utilização para fins de exploração por culturas, ou seja, usá-las para a recomposição de sua vegetação original, com o intuito de aproveitar das características de proteção de solo e água proporcionadas por esse tipo de vegetação. Essas áreas ainda foram escolhidas estrategicamente para cobrir falhas presentes em certas áreas de Vegetação Nativa, dessa forma unindo fragmentos de vegetação e não deixando expostos a intempéries locais próximos a estes, afim de potencializar seu efeito na proteção do solo em tais localidades.

Com a adequação, a bacia hidrográfica ficaria com uma área preservada, somando a Classe IV, APP e Vegetação Nativa de 44,67 % do total e com uma área agricultável, somando as Classes I, II e III de 52,45 % da totalidade, portanto mais da metade da área do Córrego Anhumas, passível de manejo voltado para a produção agrícola, com perdas mínimas de solo e uma boa parcela de área preservada com Vegetação Nativa nas áreas de maiores riscos de erosões.

A proposta de adequação agronômica do Córrego Anhumas contribuiria ainda mais de forma positiva para a bacia, que já possui situação ambiental próxima do ideal e perdas de solo por processos erosivos no limite tolerável, ou seja, pensando na sustentabilidade do sistema como um todo a bacia ficaria como um modelo de manejo conservacionista. Este modelo de agricultura planejada é o ideal a ser implantado em outras localidades para que no futuro possa ocorrer um equilíbrio entre áreas que necessitam ser preservadas e/ou conservadas com as áreas agricultáveis.

5 CONCLUSÕES

A partir desde trabalho, chegaram-se as seguintes conclusões:

Grande parcela da bacia possui classes de perda de solo entre Nula, Moderada e Média, estando dentro do limite tolerável de perdas por processos erosivos, demonstrando que a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas apresenta uma situação estável de degradação ambiental.

As áreas cobertas com remanescentes de Vegetação Nativa e Várzea, em conjunto com as APP com boa presença vegetação ciliar influenciaram positivamente no cenário, contribuindo para as menores taxas de erosão, principalmente em áreas mais críticas.

A variável da RUSLE que teve maior influência nas taxas de erosão por essa modelagem foi o Fator C (Uso e ocupação do solo), seguido dos Fatores P (Práticas conservacionistas), LS (Topográfico), R (Erosividade da chuva) e K (Erodibilidade da chuva).

Mais de metade da área da bacia hidrográfica possui PNE dentro dos limites considerados como toleráveis para eventuais perdas por erosão hídrica, sendo as áreas com potencial acima destas praticamente restritas a porção mais declivosa e com maior taxa de Erosividade na bacia.

As subclasses de capacidade de uso do solo na bacia do Córrego Anhumas, demonstram grande aptidão para agricultura, desde áreas para culturas anuais com práticas mais complexas de conservação de solo, até áreas mais aptas a culturas perenes, pastagens e reflorestamentos por recobrirem mais o solo diminuindo riscos de erosão.

A adequação agronômica da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas contribuiria ainda mais para a diminuição das taxas de perdas de solo por aumentar a parcela de vegetação nativa e de APP, além das classes com culturas e manejo adequados as características e risco de erosão na área de estudo.

A importância de aliar áreas com conservação e/ou preservação da vegetação nativa original com as áreas de produção agrícola, de forma equilibrada, gerando menor degradação ambiental e maior sustentabilidade do meio, podendo servir até como modelo de planejamento agrícola.

A aplicação das técnicas de Geoprocessamento para a implementação do modelo da RUSLE e a geração da Adequação Agronômica em ambiente SIG, utilizando-se de informações geoespacias, permitiu a obtenção de produtos com extrema rapidez, precisão e confiabilidade nos resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H.; SOUZA, A. Produção de sedimentos na Zona Costeira da Bahia – Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 199-205, jun. 2010.

ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: SÃO PAULO (Estado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. v.1., p.46-81.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. (Ed). **Conservação de solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. cap. 4, p. 75-107.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2010. 322 p.

ARAUJO JUNIOR, G. J. L. D**. Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 2003. 122 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas**: Aplicações na Agricultura. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA - CPAC, 1998. 434 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo, SP: Ícone, 2005. 355 p.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 14 jul. 2016.

BRASIL. Lei n º 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2o do art. 4o da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 out. 2012. 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm> Acesso em: 28 nov. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM>. Acesso em: 07 jul. 2016.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas**: Aplicações na Agricultura. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA - CPAC, 1998. cap. 1, p. 03-12.

CÂMARA, G. Prefácio à primeira edição. In: MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, 425 p.

CAMPOS, S.; PISSARRA, T. C. T.; MASHIKI, M. Y.; MILESKI, M. M.; DI SIERVO, M.; SILVEIRA, G. R. P. Adequação das terras da bacia do Rio Capivara, Botucatu, SP, Brasil, visando sua sustentabilidade ambiental. **UNOPAR Científica**, Londrina, v. 12, n. 1, p. 79-86, nov., 2013.

CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS JUNIOR, C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba, PR: Editora MundoGEO, 2005. 504 p.

CASTANHO, R. B**. Uso do geoprocessamento no estudo da produção agropecuária da microrregião de Carazinho - RS**. 2006. 237 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

CASTANHO, R. B.; TEODORO, M. A. O uso de geotecnologias no estudo da produção agropecuária. **Brazilian Geographical Journal**: Geosciences and Humanities Research Médium, v. 1, n. 1, p. 136-153, jan/jul. 2010.

CATI. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Plano municipal de desenvolvimento rural sustentável 2010-2013**: Município de Bofete-SP. 2010a. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/078_04_11_2010_PMDRS%20Bofete%20-%20EDR%20Botucatu.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

CATI. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Plano municipal de desenvolvimento rural sustentável 2010-2013**: Município de Botucatu-SP. 2010b. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/086_31_08_2010_PMDRS_BOTUCATU_21_07_10_Atual.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

CATI. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Plano municipal de desenvolvimento rural sustentável 2011-2013**: Município de Anhembi-SP. 2011. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/026_21_03_2011_PMDRS_-_ANHEMBI_-_2011-2013_-_03-01-2011.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. 2016. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html>. Acesso em: 25 jul. 2016.

CHERUBIM, L. M.; PINTO, E. B.; SILVA, G. M.; REBELO, K. M. W. O uso de Geotecnologias no processamento, ajustamento e representação de dados espaciais no processo de ensino e aprendizagem na disciplina de Geomática. **Ensino em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 204-210, jan/jul. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

COGO, N. P.; BERTOL, I. O papel das práticas mecânicas e não mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: Conceitos e princípios. In: NUERNBERG, J. N. (Org.). **Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto**. 1. ed. Lages, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1998. v. 1, p. 53-75.

COSTA, B. O. **Perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico - SP, utilizando de técnicas de geoprocessamnto**. 2014. 85 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2014.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. 2001. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos. SAE/INPE. (INPE-8454-RPQ/722).

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. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

DONZELLI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. **Documentos IAC**, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 306 p.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. 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. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, n. 2, p. 73-85, 2006.

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. 1997. 158 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.

FERREIRA, M. C. Considerações teórica-metodológicas sobre as origens e a inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia. In: VITTE, A. C. (org.) **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. RJ: Bertrand Brasil, 2007

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.

GARCIA, Y. M. **Aplicação do Código Florestal como subsídio para o planejamento ambiental na bacia hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó - São Paulo**. Trabalho de Conclusão (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2011, 145 f.

GARCIA, Y. M. **Conflitos de uso do solo em APPs na bacia hidrográfica do Córrego Barra Seca (Pederneiras/SP) em função da legislação ambiental**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2014.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; COUTO, D. R.; SOUZA, F. B. C.; SANTOS JUNIOR, G. N.; SANTOS, A. R. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 21-34, 2012.

GOMES, W. M.; MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 11, n. 5, p. 48-63, 2015.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2005. cap. 4, p. 149-209.

HASENACK, H. O Centro de Recursos Idrisi no Brasil. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica* (GEOSIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina. Ano 2, N° 2, Seção IV:1-2. 2010. Disponível em: < http://www.gesigproeg.com.ar/documentos/revista-geosig/2010/HASENACK-HEINRICH2010.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

HELM, R. **Large-scale erosion risk mapping for the state of São Paulo, Brazil**. 2008. Master degree in International Land and Water Management – Wageningen, Jakarta, 29 p., 2008.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1977. 320 p.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. 1999. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. Campinas.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica**: folha de Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3) e folha de Bofete (SF-22-Z-D-III-1). Serviço gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE). **TOPODATA**: Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 25 jun. 2015.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE). **Banco de Dados Geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2016. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 15 jul. 2016.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1981. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:1.000.000. São Paulo. 2v.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução de EPIPHANIO, J. C. N. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p.

LABGEO. Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia. **O IDRISI**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/>. Acesso em: 15 jul. 2016.

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.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4a aproximação. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R. R.; LEITÃO FILHO; H. F. (Ed.) **Matas Ciliares**: conservação e recuperação. 2. ed. São Paulo, SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

MACEDO, M. A.; RUDDORF, B. F. T. Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do Rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento. In: IX Simpósio Latino-Americano en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, 2000, Puerto Iguaçu. **Anais...** IX Simpósio Latino-Americano en Percepción Remota, 2000. p. 761-770.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; GOMES, D. P.; EDUARDO, E. N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de

ocorrência no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 529-547, 2013.

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

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES**. 2005. 106 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

MEDEIROS, A. M. L. **O Geoprocessamento e suas Tecnologias**: Parte 2. 2016. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/geotecnologias-parte2/>. Acesso em: 18 jul. 2016.

MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 10, p.1-36. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2016

MENEZES, D. B. **Avaliação de aspectos metodológicos e aproveitamento de informações do meio físico em estudos geoambientais de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia do rio Pardo. 2001. 235 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro. 2001.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 18, n. 8-9, p. 761-799, out./nov. 2003.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 425 p.

MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PINTO, F. A. C.; PRUSKI, F. F. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 88-92, abr./jun. 2006.

MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; BLANCANEAUX, P. Aptidão agrícola das terras dos municípios de Silvânia e São Miguel do Passa Quatro – GO. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1993, Goiânia. **Anais...** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1993, p. 399-400.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2014, 286 p.

MURAMOTO, J.; SPAROVEK, G.; LEPSCH, I. F.; VIDAL TORRADO, P. Adequação do uso das terras de Piracicaba (SP). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1993, Goiânia. **Anais...** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1993, p. 405-406.

NOVELLI, M. **Sistema gerenciador de banco de dados**. 2006. Disponível em: <http://www.plugmasters.com.br/sys/materias/108/1/SGBD---Sistema-Gerenciador-de-Banco-de-Dados>. Acesso em: 29 jul. 2016.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: Princípios e Aplicações. 3. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2008. 363 p.

PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F. G. B.; PEREIRA, J. C. D. Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG). **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 589-601, 2010.

PETERSEN, G. W.; BELL, J. C.; MCSWEENEY, K.; NIELSEN, A. G.; ROBERT, P.C. Geographic informations systems in agronomy. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 55, p. 67-111, 1995.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1528-1538, 2012.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu – SP**. 2002. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

PIROLI, E. L. Prefácio à primeira edição. In: BENINI, S. M. (Org.). **Uso de Sistemas de Informação Geográfica na análise ambiental em bacias hidrográficas**. 1. ed. Tupã, SP: Editora ANAP, 2015, 139 p.

REIS, R. S. **O que é o ArcGIS 8.3**. 2016. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/professor/rsr/apostila-arcgis/Capitulo1_OQueEOArcGis.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **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). Disponível em: <http://www.techtransfer.osmre.gov/NTTMainSite/Library/hbmanual/rusle703.htm>. Acesso em: 23 fev. 2016.

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1982. p. 64-87.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Capacidade de uso da terra no Alto Rio Pardo, Botucatu (SP), através do Sistema de Informação Geográfica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 48-60, abr./jun., 1999.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P.; MENEZES NETO, E. L.; AGUIAR NETTO, A. O. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 2, p. 271-287, 2014.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S.; MIGLIACCIO, K. W.; RODRIGUES, C. T. A. Mapping for environmental planning the basin of Córrego Rico, São Paulo. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 45-58, 2013.

RODRIGUES, M. T. **Comportamento de Sistemas de Informações Geográficas por meio de classificação supervisionada em diferentes bacias hidrográficas**. 2015. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; TAGLIARINI, F. S. N. Comparação do desempenho de Sistemas de Informação Geográfica (IDRISI Selva e ArcGIS®) por meio de processamento digital de imagem. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 10, n. 2, p. 265-280, 2014.

ROSA, R. Geomática no Brasil: Histórico e perspectivas futuras. **GeoFocus** (Informes y comentarios), Bellaterra, n. 9, p. 29- 40, 2009.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 81-90. 2005.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 89-122, 1998.

SCOLPEL, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D, SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas**: aplicações na agricultura. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1993 – p. 157-70.

SEBEM, E.; MONGUILHOTT, M. **Curso de cartografia básica, GPS e ArcGIS**. 1. ed. Santa Maria: UFSM-Colégio Politécnico, 2010. 228 p.

SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agronômicos e florestais. **Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 399-409, 2015.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Banco de Dados**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: Campus-Elsevier, 2012. 904 p.

SILVA, A. M. Potencial Natural de Erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, Mayaguez, v. 8, n. 1, p. 5-14, 2008.

SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. C.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Predição da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando Geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 141-148, abr./jun. 2010.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. **Curso de Geografia e Análise Ambiental**. 1. ed. Belo Horizonte: UNIBH, 2010. 62 p.

SILVA, V. D. **Análise de perda de solo, utilizando o modelo (RUSLE) Revised Universal Soil Loss Equation, aplicado com auxílio das técnicas de geoprocessamento na bacia do Ribeirão Reis, Maringá-PR**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SILVEIRA, G. R. P. **Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP)**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2016.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentável das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000.

TAGLIARINI, F. S. N.; FERNANDES, G. C.; RODRIGUES, V. A.; GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S. Avaliação morfométrica da microbacia do Córrego do Bebedouro, Planalto - SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 402-410, 2015.

TAGLIARINI, F. S. N.; RODRIGUES, M. T.; SILVEIRA, G. R. P. Uso de geotecnologias para determinação das subclasses de capacidade de uso do solo na microbacia do Córrego do Petiço, Botucatu-SP. In: BENINI, S. M. (Org.). **Uso de Sistemas de Informação Geográfica na análise ambiental em bacias hidrográficas**. 1. ed. Tupã, SP: Editora ANAP, 2015. v. 1, cap. 3, p. 59-79.

USGS. U.S. Department of the Interior / U.S. Geological Survey. **Browse Images**. 2016. Disponível em: <http://glovis.usgs.gov/AboutBrowse.shtml>. Acesso em: 30 ago. 2015.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, SP: FCAV–UNESP/SBCS, 1994. p. 223-242.

VALLE JÚNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, T. C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908, 2010.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e assoreamento. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. cap. 4, p. 39-58.

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

ZIMBACK, C. R. L.; RODRIGUES, R. M. **Determinação das classes de capacidade de uso das terras da Fazenda Experimental de São Manoel – UNESP**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Departamento de Solos, 1993. 28 p. (Mimeografado).