



Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Instituto de Recursos Naturais - IRN
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial
e Geomática - NEPA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia



Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira.

Eng^o. Hélio José da Silva

UNIFEI
Itajubá/MG, Novembro de 2016.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.



Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Instituto de Recursos Naturais - IRN
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial
e Geomática - NEPA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia



Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira.

Eng^o. Hélio José da Silva

Dissertação submetida ao programa de Mestrado em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

UNIFEI
Itajubá/MG, Novembro de 2016.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me dá fé, força e esperança de que preciso.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, por me incentivarem a conquistar meus objetivos e me apoiarem nos investimentos necessários à minha formação.

Agradeço ao professor Dr. Francisco Antônio Dupas pela orientação e auxílio durante as fases deste trabalho.

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento de bolsa e auxílio à pesquisa que possibilitou minha dedicação exclusiva durante o programa de mestrado em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá.

Agradeço a todos os professores que tive ao longo de minha vida, que muito mais que bons mestres, são exemplos a serem seguidos.

Agradeço aos amigos do NEPA-UNIFEI: André Luiz Barouch, Camila Abe, Carlos Wilmer Costa, Damiane Silvestre Coelho, Fernanda Barbosa Siqueira, Fernanda Luz, Graziela Rodrigues Oliveira, Janine Akumi Neves e Leonardo Kenworthy pelas incontáveis horas de parceria e paciência, com os quais pude contar sempre que precisei.

Agradeço a todos os amigos que fiz em Itajubá, os quais me acolheram em minha estadia nesta cidade. Em especial, agradeço aos grandes e eternos amigos que me deram palavras de ânimo e torceram por mim.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta construção: meu muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trabalhos em desenvolvimento no Mosaico da Mantiqueira.	14
Figura 2 - Componentes esquemáticos do balanço hidrológico na superfície de evapotranspiração	19
Figura 3 - Impacto da gota de água sobre o solo e seu efeito e erosão em sulcos.....	20
Figura 4 - Faixas marginais estabelecidas pela legislação brasileira de acordo com a largura dos rios	35
Figura 5 - Localização da área de estudo.	43
Figura 6 - Climograma referente a área de estudo (2015).....	46
Figura 7 – Paisagem típica da região de estudo.....	47
Figura 8 - Vista geral do relevo típico que ocorre nas APASM, APAFD e área de entorno.....	50
Figura 9 - Esquema simplificado dos procedimentos metodológicos.	56
Figura 10 – Detalhe da agricultura praticada na área de estudo.	75
Figura 11 – Área de pastagem as margens do rio bicas em de Wenceslau Braz – MG. 79	
Figura 12 – Voçoroca em área de pastagem (agosto, 2016).....	80
Figura 13 - Áreas ampliadas de cada mapa-síntese.....	82
Figura 14 – Detalhe de áreas utilizadas pela pecuária na área de estudo.	95
Figura 15 - Rio Sapucaí cortando o município de Itajubá MG.	96
Figura 16 – Municípios inseridos na área de estudo.	100
Figura 17 – Típica estrada rural encontrada na área de estudo.	101
Figura 18 – Evolução da população da área de entorno das APA's.....	102
Figura 19 - Crescimento populacional da APASM e APAFD	103
Figura 20 – Uso e ocupação do solo por estado inserido na área de estudo.....	105
Figura 21 – Distribuição percentual da EPS por estado inserido na área de estudo.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos solos mapeados nas APASM e APAFD.....	52
Tabela 2 – IDH dos municípios pertencentes a APASM e APAFD.	54
Tabela 3 – Materiais empregados no trabalho.....	55
Tabela 4 - Classes interpretativas de erosividade da chuva.....	58
Tabela 5 - Classes interpretativas de erodibilidade do solo.	59
Tabela 6 - Classes interpretativas do fator LS.....	60
Tabela 7 – Classes de interpretação da EPS.....	63
Tabela 8 - Classes interpretativas do PNE.....	63
Tabela 9 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes de erosividade.....	66
Tabela 10 – Valores médios para o fator K dos tipos de solos da região de estudo.....	67
Tabela 11 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes de solos.	68
Tabela 12 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes do fator topográfico.	69
Tabela 13 – Fator C para as diferentes classes temáticas de uso e cobertura do solo da região de estudo.....	71
Tabela 14 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes temáticas do fator uso e manejo do solo.....	72
Tabela 15 – Valores de áreas da região de entorno por classes da EPS.....	76
Tabela 16 – Valores de áreas da APASM e da APAFD por classes da EPS.	78
Tabela 17 - Valores encontrados para os fatores da EUPS e seus resultados para os 6 pontos destacados nas ampliações.....	81
Tabela 18 – Valores de áreas da região de estudos por classes do PNE.	84
Tabela 19 – Porcentagem por classe de IQA das principais bacias hidrográficas nas quais se inserem as UGRHI presentes na área de estudo.	86
Tabela 20 – Valores de turbidez e de Sólidos totais de alguns rios inseridos na área de estudo.....	88
Tabela 21 – População absoluta das UGRHI inseridas na região de estudo.	90
Tabela 22 - Municípios com maior número de habitantes em cada UGRHI inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD – 2015.	91
Tabela 23 – Consumo médio de água por UGRHI inseridas na inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD – 2015 não considerando o uso agropecuário.	92
Tabela 24 – Potência total instalada por UGRHI inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD.....	93
Tabela 25- Implementação dos instrumentos da PNRH por UGRHI inseridas na região de entorno, da APASM e da APAFD.	94
Tabela 26 - Capacidade de alteração dos recursos hídricos.	97
Tabela 27 – Conservação / recuperação dos recursos hídricos.	98
Tabela 28 - Evolução, em termos percentuais, da população da área de entorno.	102
Tabela 29 - Evolução, em termos percentuais, da população da APASM e APAFD. .	103
Tabela 30 – Proporção da área e da população residente na área total por estado.....	104

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	23
Equação 2	24
Equação 3.....	59
Equação 4.....	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

@ arroba

APA - Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPS - Expectativa de perda de solo

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

GPS - *Global Positioning System*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

InSAR - *Interferometry Synthetic Aperture Radar*

IRN - Instituto de Recursos Naturais

MDT - Modelo Digital do Terreno

MUCS - Mapa de Uso e Ocupação do Solo

NASA - *National Imagery and Mapping Agency*

NEPA - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática

NIMA - *National Imagens and Mapping Agency*

ONU - Organização das Nações Unidas

PNE - Potencial Natural de Erosão

PNMA - Programa Nacional de Meio Ambiente

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

RL - Reserva Legal

RPPN - Reserva Particular e do Patrimônio Natural

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SNUC - Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

UC - Unidade de Conservação

USLE - Universal Soil Loss Equation

UTM - Universal Transversa de Mercator

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. PROCESSOS EROSIVOS	16
3.1.1. EROSÃO	16
3.1.2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO	22
3.1.3. EROSÃO E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE E A QUANTIDADE DE ÁGUA.....	25
3.2. USO E COBERTURA DO SOLO.....	28
3.3. ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE	30
3.4. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE MULTITEMPORAL	36
3.4.1. INTEGRAÇÃO ENTRE EUPS E SIG	38
3.4.2. SRTM/MDT – DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES.....	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
4.2. MATERIAIS.....	54

4.3. MÉTODOS	55
4.3.1. DETERMINAÇÃO DOS FATORES DA EUPS.....	57
4.3.2. EPS	62
4.3.3. PNE.....	63
4.3.4. ANÁLISE MULTITEMPORAL	64
4.3.5. EPS E A RELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE E A QUANTIDADE DE ÁGUA FRENTE AOS PROCESSOS EROSIVOS	64
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
5.1. FATORES DA EPS	66
5.2. EPS – ANÁLISE MULTITEMPORAL	76
5.3. PNE.....	83
5.4. IMPORTÂNCIA DA RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS PARA A MANUTENÇÃO DA QUALIDADE E QUANTIDADE DA ÁGUA.....	85
6. CONCLUSÕES.....	109
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
APÊNDICE I – Distribuição espacial do fator R na região de entorno.	139
APÊNDICE II – Distribuição espacial do fator R na APASM e na APAFD.....	140
APÊNDICE III – Distribuição espacial do fator K na região de entorno.....	141
APÊNDICE IV – Distribuição espacial do fator K na APASM e na APAFD.....	142
APÊNDICE V – Distribuição espacial do fator LS na região de entorno.....	143
APÊNDICE VI – Distribuição espacial do fator LS na APASM e na APAFD.....	144
APÊNDICE VII – Distribuição espacial do fator CP 1985 na região de entorno.	145
APÊNDICE VIII – Distribuição espacial do fator CP 1985 na APASM e na APAFD	146
APÊNDICE IX – Distribuição espacial do fator CP 1995 na região de entorno.	147
APÊNDICE X – Distribuição espacial do fator CP 1995 na APASM e na APAFD...	148
APÊNDICE XI – Distribuição espacial do fator CP 2005 na região de entorno.	149

APÊNDICE XII – Distribuição espacial do fator CP 2005 na APASM e na APAFD.	150
APÊNDICE XIII – Distribuição espacial do fator CP 2015 na região de entorno.....	151
APÊNDICE XIV – Distribuição espacial do fator CP 2015 na APASM e na APAFD	152
APÊNDICE XV – Distribuição espacial da EPS 1985 na região de entorno.....	153
APÊNDICE XVI – Distribuição espacial da EPS 1985 na APASM e na APAFD.....	154
APÊNDICE XVII – Distribuição espacial da EPS 1995 na região de entorno.....	155
APÊNDICE XVIII – Distribuição espacial da EPS 1995 na APASM e na APAFD...	156
APÊNDICE XIX – Distribuição espacial da EPS 2005 na região de entorno	157
APÊNDICE XX– Distribuição espacial da EPS 2005 na APASM e na APAFD	158
APÊNDICE XXI – Distribuição espacial da EPS 2015 na região de entorno.	159
APÊNDICE XXII – Distribuição espacial da EPS 2015 na APASM e na APAFD. ...	160
APÊNDICE XXIII – Distribuição espacial do PNE na região de entorno.....	161
APÊNDICE XXIV – Distribuição espacial do PNE na APASM e na APAFD.....	162
ANEXO I - Histórico dos estudos já realizados.....	163
ANEXO II – Informações complementares a cerca do LANDSAT	171

RESUMO

SILVA, HÉLIO JOSÉ DA. *Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. 2016.

A degradação do solo por erosão é um problema que vem sendo cada vez mais abordado em estudos multidisciplinares e cujas consequências podem ser de ordem ambiental, social e econômica. Em decorrência deste tipo de degradação são percebidas perdas na produtividade agrícola, assoreamento e redução da qualidade e quantidade de água. Este trabalho objetivou: (i) realizar uma análise multitemporal do potencial de perda de solo por erosão laminar hídrica ao longo dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 nas Áreas de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira e Fernão Dias e região de entorno com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG); (ii) relacionar as taxas estimadas de perda de solo com a qualidade e quantidade de água das duas APA's e entorno. Em termos metodológicos, o modelo escolhido para se estimar as taxas de perdas de solo foi a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) cujos resultados foram relacionados aos dados de qualidade da água. Os dados utilizados nesse trabalho foram climáticos (precipitação), aspectos pedológicos (tipos de solo), geomorfológicos (topografia), uso e cobertura do solo, reunidos em cartas temáticas. As taxas médias de perdas estimadas foram de 15.264,5 ton/ha.ano, 13.655,5 ton/ha.ano, 11.733,2 ton/ha.ano e 9.418,3 ton/ha.ano para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente, e os fatores que mais influenciaram essas perdas foram os relativos à topografia (LS) e ao uso e cobertura do solo (C). Com esses resultados, foi possível elaborar um diagnóstico sobre a relação entre a degradação do solo por erosão e a qualidade e quantidade dos recursos hídricos existentes, de modo a possibilitar e fomentar o planejamento de medidas de contenção da erosão. O estudo enfatiza a importância da qualidade do meio ambiente na área de estudo, da conservação da vegetação existente, preservando assim o solo e consequentemente a qualidade e a disponibilidade hídrica local, podendo servir como pioneiro para o estudo em outras áreas de interesse público no Brasil.

Palavras-chave: Equação Universal de Perda de Solo. Sistemas de Informação Geográfica. Áreas de Proteção Ambiental. Perdas de Solo. Áreas degradadas.

SILVA, H. J.. *Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

ABSTRACT

SILVA, HÉLIO JOSÉ DA. *Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. 2016.

Soil degradation by erosion is a problem that has been increasingly addressed in multidisciplinary studies and whose consequences can be environmental, social and economic. As a result of this type of degradation, losses are observed in agricultural productivity, silting and reduction of water quality and quantity. The objective of this work was: (i) to carry out a multitemporal analysis of the potential for soil loss by water laminar erosion over the years 1985, 1995, 2005 and 2015 in the Serra da Mantiqueira and Fernão Dias Environmental Protection Areas and the surrounding region with the Assistance of the Geographic Information System (GIS); (ii) to relate the estimated rates of soil loss with the quality and quantity of water from the two APAs and surroundings. The method used to estimate soil loss rates was the Universal Soil Loss Equation (EUPS), whose results were related to water quality data. The data used in this study were climatic (precipitation), pedological aspects (soil types), geomorphological (topography), land use and cover, gathered in thematic charts. The estimated average loss rates were 15,264.5 ton / ha.year, 13,655.5 ton / ha.year, 11,733.2 tons / ha.year and 9,418.3 tons / ha.year for the years 1985, 1995 , 2005 and 2015, respectively, and the factors that most influenced these losses were those related to topography (LS) and land use and cover (C). With these results, it was possible to elaborate a diagnosis about the relationship between soil degradation by erosion and the quality and quantity of existing water resources, in order to enable and encourage the planning of measures to contain erosion. The study emphasizes the importance of the quality of the environment in the study area, the conservation of the existing vegetation, thus preserving the soil and consequently the local water quality and availability, and can serve as a pioneer for the study in other areas of public interest in Brazil .

Keywords: Equation Universal Soil Loss. Geographic Information Systems. Environmental Protection Areas. Predict soil loss. Degraded areas.

SILVA, H. J.. *Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A ocupação humana em áreas consideradas vulneráveis tem provocado a chamada erosão acelerada na qual dentre as inúmeras consequências merecem destaque a diminuição da quantidade e da qualidade da água dos mananciais, a redução do tempo de vida útil dos reservatórios de geração de energia, visto que o excesso de sedimentos diminui o volume de água útil das represas, além da queda da produtividade agrícola através do desaparecimento de solos destinados à agropecuária.

Segundo COELHO (2001), a dependência da civilização humana em relação aos recursos naturais é evidente, principalmente em relação aos recursos hídricos. Um exemplo desta dependência seria a característica histórica de muitas cidades da região da Serra da Mantiqueira desenvolverem-se às margens dos rios bem como o desenvolvimento de culturas irrigadas e pastagens aproveitando suas condições geomorfológicas, descaracterizando a vegetação ripária, forte aliada na conservação da quantidade e qualidade da água. Em estudo publicado pela SCIENCE, LE SAOUT *et al.* (2013), apontam a Serra da Mantiqueira como uma das áreas protegidas mais insubstituível do mundo em função dos diversos serviços ambientais prestados, dentre eles o abastecimento de água para a região economicamente mais desenvolvida do país.

Com relação à situação brasileira, a exemplo de outros países, a ocupação do solo, na qual matas nativas são convertidas em pastagem, áreas agropecuárias ou expansão de áreas urbanas, é realizada de maneira desordenada, sem a avaliação das características e potencialidades do mesmo, desconsiderando as possíveis implicações desta ocupação na qualidade e quantidade dos recursos naturais, principalmente no tocante aos recursos hídricos. A preocupação com os impactos da erosão sobre a demanda hídrica deve nortear as políticas públicas para a recuperação das bacias hidrográficas prejudicadas pelo uso inadequado da terra no que se refere a encontrar a melhor maneira de gerenciar os recursos hídricos a fim de que a escassez hídrica na região não se torne de fato uma realidade.

Com o intuito de promover uma melhor compreensão da erosão e de suas consequências, desde a década de 1950, inúmeros modelos empíricos de previsão de perdas de solo por erosão laminar têm sido desenvolvidos, constituindo importantes

ferramentas na identificação tanto de locais que carecem de práticas conservacionistas adequadas para evitar os processos erosivos como de quais fatores exercem maior efeito sobre esta perda.

As modernas tecnologias, hoje disponíveis, contribuem para que diversas medições, análises, armazenamento e integração de informações ambientais em modelos matemáticos computacionais proporcionem maior eficiência e eficácia na estimativa dos fatores que afetam a magnitude da erosão, gerando diversos mapas-síntese que auxiliam na compreensão desse grave problema ambiental.

Sendo assim, este trabalho buscou, através da utilização do SIG, determinar a estimativa da perda de solo - EPS - por meio da EUPS para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 e o potencial natural de erosão - PNE - para a Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira - APASM, a Área de Proteção Ambiental Fernão Dias - APAFD, bem como para a região de amortecimento das mesmas, gerando resultados que permitam planejar e corrigir os efeitos indesejáveis do processo de erosão acelerada.

Somam-se a isso, a necessidade de se aumentar o conhecimento a respeito dos fatores que compõem a EUPS, identificando áreas prioritárias no tocante a medidas corretivas do processo erosivo, principalmente nas matas ciliares dos mananciais e reservatórios, com vista à conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade do uso do solo e da água na área de estudo, região que possui nascentes importantes para os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Ao mesmo tempo, essa área encontra-se totalmente inserida na Mata Atlântica, bioma com grande biodiversidade, mas que se encontra ameaçado.

Este trabalho integra um conjunto de estudos que estão sendo desenvolvidos na Serra da Mantiqueira, sendo eles apresentados na figura 1:

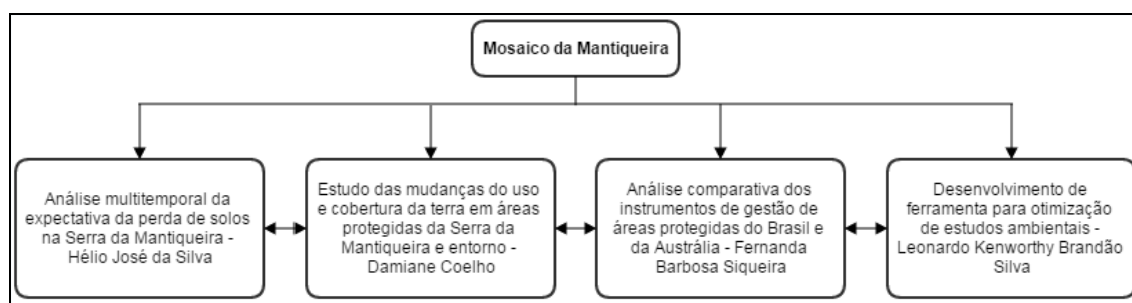


Figura 1 – Trabalhos em desenvolvimento no Mosaico da Mantiqueira.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estimar a evolução da expectativa da perda de solo na APASM, APAFD e região de amortecimento através da análise multitemporal para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 por meio da EUPS e subsidiar estudos integrados que tenham o objetivo de analisar a influência da EPS em mananciais urbanos locais, regionais e nacionais que visem a geração de energia, além do planejamento territorial de áreas protegidas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os fatores integrantes da Equação Universal de Perdas de Solo;
- Elaborar mapas multitemporais para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 da EPS e da população para os estados de MG, SP e RJ;
- Elaborar mapa para o PNE;
- Analisar a EPS para a APASM, APAFD e região de entorno assim como a população por estado (MG, SP e RJ) e sua possível interferência na integridade dos recursos hídricos superficiais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como foco apresentar uma revisão da literatura para os termos considerados no trabalho. O item 3.1 discute sobre os processos erosivos e sua relação com a qualidade e quantidade da água, considerando ainda os modelos utilizados para prever as perdas de solo, analisando o papel das variáveis de influência em sua ocorrência. O item seguinte, item 3.2, disserta sobre o uso e cobertura do solo. O item 3.3 apresenta as Áreas de Proteção Ambiental e as Áreas de Proteção Permanente, considerando principalmente a legislação nacional norteadora de sua definição, além de considerar sua importância na atenuação do processo de perdas de solo. Por fim, o item 3.4 aborda a utilização do geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica no processo de modelagem para a elaboração dos mapas-sínteses que permitiram estabelecer os resultados e conclusões deste trabalho.

3.1. PROCESSOS EROSIVOS

A vida no planeta é sustentada pelo solo, organismo vivo que a cada ano sofre mais e mais com as ações antrópicas desmedidas, sendo os processos erosivos motivo de grande preocupação mundial. A cada ano milhões de toneladas de solo são perdidas e seu processo de recuperação é tão demorado quanto seu processo de formação. Diante dos grandes problemas envolvendo o solo, a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou o ano de 2015 como o Ano Internacional dos solos. De acordo com a EMBRAPA (2015), espera-se que com essa iniciativa da ONU haja melhor compreensão sobre a real importância do solo para a sociedade.

3.1.1. EROSÃO

A exploração dos recursos naturais se intensificou em função da urbanização e dos processos de conversão da vegetação nativa em área de produção agrícola (COSTANZA *et al.*, 1997; MEA, 2005; PARRON & GARCIA, 2015) ocasionando muitas consequências indesejáveis, tais como erosão acentuada dos solos, frequente ocorrência de enchentes, maiores custos para efetivação do tratamento e fornecimento de água potável. Com relação ao processo erosivo, as perdas anuais de solo e água em

áreas agrícolas brasileiras ocasionadas pela erosão hídrica são da ordem de 822,7 milhões de toneladas e 171 bilhões de m³, respectivamente, sendo que a estes valores está associada uma perda de US\$ 4,2 bilhões por ano, referente aos custos relativos à reposição de fertilizantes, a menores produtividades, aos maiores custos de produção, ao tratamento de água, à manutenção de estradas e ao maior consumo de energia, entre outros (HERNANI *et al.*, 2002).

Segundo ALMOROX, LÓPEZ & RAFAELLI (2008), foi a partir das perdas de safras agrícolas no meio-oeste dos Estados Unidos (EUA) na década de 30 do século passado em função de um longo período de seca em áreas desprotegidas que a erosão passou a preocupar a comunidade científica e passou a ser motivo de muitas pesquisas.

A ocorrência de processos erosivos é um fenômeno natural que acontece em todos os ecossistemas, contudo, o risco de degradação do solo em regiões brasileiras é muito mais elevado devido às condições climáticas tropicais dominantes, à susceptibilidade quanto à erosividade das chuvas, bem como da erodibilidade de alguns dos seus solos (SILVA *et al.*, 2013).

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1999); BITAR (1995); BABAN & YUSOF (2001); ARAÚJO *et al.* (2005), a erosão compreende ao processo de desagregação, transporte e arraste acelerado de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, no qual há ação combinada da gravidade com a água, o vento, o gelo e/ou organismos vivos (plantas e animais), representando a principal causa do depauperamento acelerado das terras. No caso específico da erosão hídrica, que é causada pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial, há o transporte das partículas de solo em suspensão e dos elementos nutritivos essenciais ao desenvolvimento das culturas e vegetação nativa.

Segundo CUNHA (1997), a substituição da vegetação natural por outro tipo de cultura não promove eficiente proteção contra o processo erosivo, impedindo o estabelecimento do processo pedogenético que retocaria a camada erodida. A erosão acelerada do solo é uma das preocupações do mundo atual e, geralmente, é considerada como uma das principais causas da degradação do solo (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2011). Com relação ao processo natural, nota-se um balanceamento entre formação e desgaste do solo, conservando as propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo. Dessa forma, um sistema apresenta-se em desequilíbrio quando a morfogênese (erosão)

predomina sobre o processo de pedogênese (formação dos solos), caracterizando um meio ecodinâmico instável. Tal desequilíbrio associa-se a condições naturais, como mudanças climáticas e estruturais, ou pela intervenção humana (TRICART, 1977).

Diversos fatores estão envolvidos no processo erosivo, tais como: condições meteorológicas (vento, chuva, água de escoamento), características do solo (textura, estrutura, permeabilidade, teor de matéria orgânica), remoção da vegetação natural, dentre outros. Os mecanismos erosivos podem ocorrer também através do transporte de partículas por fluxos subsuperficiais ou, ainda, por movimentos de massa mais complexos (BASTOS *et al.*, 2001).

DIAZ (2001) estimou que de toda a erosão produzida no mundo, de 25% a 35% dos sedimentos transportados atingem os oceanos e o restante se deposita nas áreas inundáveis, cursos d'água, lagos e reservatórios hidráulicos. A exposição do solo reduz sua fertilidade, acarretando a contaminação do ecossistema aquático, que conforme CARNEIRO *et al.* (2015); TUNDISI *et al.* (2015) acaba por gerar graves consequências econômicas tanto para o tratamento da água quanto à saúde humana.

A proteção contra a erosão, quando em fases anteriores ao desenvolvimento do processo, representa uma tarefa passível de ser executada de forma simples, enquadrando-se mais medidas preventivas do que corretivas, tais como: diminuição das forças de tração ou de arrasto, diminuição da velocidade do fluxo d'água sobre a superfície ou dissipação da energia da água, manutenção da cobertura vegetal adequada, dentre outras. A adequada conservação dos solos e da água permite além da redução do processo erosivo e das consequências associadas às perdas de solo, o melhor aproveitamento dos recursos hídricos (PRUSKY; MIRANDA; NUNES, 2012). Combater os efeitos pontuais da erosão do solo exige a compreensão das taxas de perda de solo e a identificação dos principais fatores de controle que aumentam ou retardam esses processos (MORETI *et al.*, 2003; ROUSSEVA, 2003; BRHANE & MEKONEN, 2009; GASPARI *et al.*, 2009; GITAS *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2009).

A erosão hídrica pode ser considerada a forma mais ativa dos processos de degradação dos solos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). Ela é determinada por fatores naturais como: clima (principalmente intensidade e duração das chuvas), variedade de solos (a erosão não é a mesma para todos os tipos de solo), topografia (em geral, quanto maior a declividade do terreno, maior a intensificação do processo

erosivo), cobertura vegetal (além de manter a fertilidade do solo, representa um bloqueio mecânico às gotas de chuva). Além desses fatores que são inerentes ao meio, existem ainda os antrópicos que são relacionados principalmente com o uso e manejo do solo. No Brasil, principalmente nas regiões mais úmidas, a erosão hídrica tem gerado grandes preocupações em função de sua capacidade de desprendimento e transporte de material erodido (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; RUHOFF, 2004).

As águas das chuvas perfazem diversos caminhos: parte é evapotranspirada e outra, armazenada ou ainda interceptada pelo dossel. A partir daí tem-se o processo de infiltração na zona de maior permeabilidade, podendo chegar a profundidades maiores, com armazenamento da umidade no solo e fluxo de subsuperfície. O que não foi infiltrado fica armazenado em depressões superficiais, onde parte é evaporada e outra escoada na superfície, podendo integrar o fluxo fluvial. A figura 2 ilustra de maneira bem clara o processo descrito.

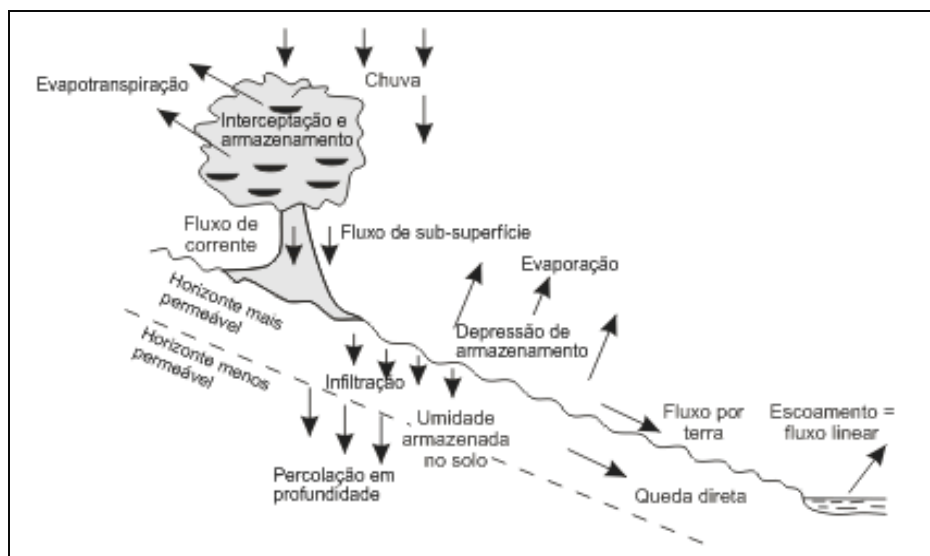


Figura 2 - Componentes esquemáticos do balanço hidrológico na superfície de evapotranspiração (Fonte: CARSON & KIRKBY, 1972).

A erosão acontece quando partículas do solo desprovidas de cobertura vegetal são destacadas por pingos de chuva e transportada por fluxo superficial. Em áreas onde o processo de erosão está avançado ocorrem redução da produtividade agrícola, aumento do transporte de sedimentos, nutrientes e agrotóxicos (SILVA *et al.*, 2013). A figura 3 ilustra o fenômeno descrito anteriormente.

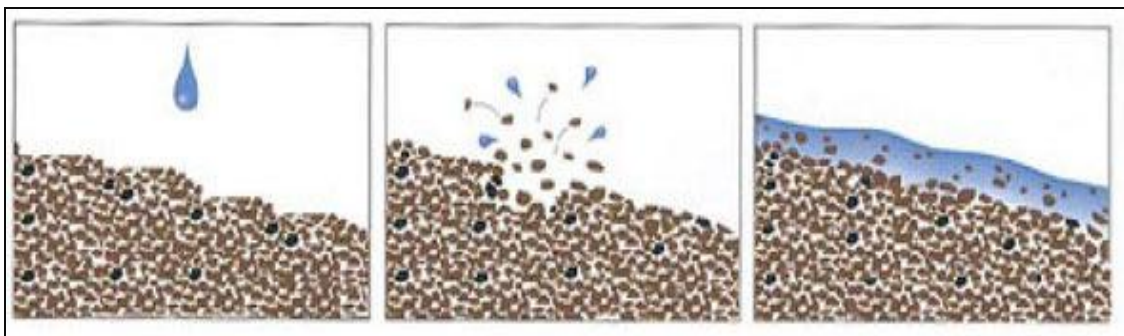


Figura 3 - Impacto da gota de água sobre o solo e seu efeito e erosão em sulcos (modificado de CASSETI, 1989/1990).

Com a redução do diâmetro dos poros, o processo de escoamento superficial passa a ser bem maior que sua infiltração. Os principais responsáveis pela deficiência do escoamento superficial são a baixa densidade ou ausência da cobertura vegetal; a declividade, quando permite o desenvolvimento da componente paralela; o comportamento do material de superfície; a “capacidade de campo”; a intensidade e duração das chuvas, dentre outras variáveis.

Dependendo dos fatores intrínsecos (declividade e geometria do rio, uso e ocupação do solo) e dos fatores extrínsecos (intensidade e duração das chuvas), têm-se diferentes formas de escoamento. Tendo por base essa classificação, podem-se identificar os seguintes tipos de erosão:

a) Fluxo difuso: quase sempre associado à rugosidade do terreno que gera resistência de atrito ao escoamento superficial pela presença da cobertura vegetal. Segundo SELBY (1994), os resultados encontrados para a velocidade do escoamento superficial podem variar de 0,0015 a 0,3 m.s⁻¹. Esses valores são suficientes para transportar silte e areia fina. Esse mecanismo depende, basicamente, da duração e da intensidade dos eventos chuvosos (OLIVEIRA, 1999).

b) Fluxo laminar: forma mais lenta e insidiosa de erosão. Esse tipo de erosão não é perceptível a curto e médio prazo uma vez que não deixa marcas observáveis no terreno, gerando prejuízos incalculáveis ao agricultor. De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) a erosão laminar foi considerada de difícil percepção, após observar a quantidade de solo arrastado, durante certo tempo, de culturas perenes cultivadas em terrenos suscetíveis à erosão. A perda de solo desencadeada pela ocupação humana depende de fatores naturais agrupados em três conjuntos:

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

- Associados à natureza do solo: engloba textura, estrutura, permeabilidade, dentre outros aspectos do solo;
- Associados à morfologia local: aluda-se a declividade e comprimento da encosta;
- Associados ao clima: refere-se à quantidade de chuva que chega ao terreno, isto é, quanto de solo é removido pela precipitação.

c) Fluxo concentrado: resultada convergência do escoamento superficial em função de microdepressões no terreno. Para esta configuração, ocorre corrosão ou alargamento do canal, derivado do efeito do impacto de partículas sobre o material estático do fundo e das bordas do canal. Esse tipo de escoamento acarreta a formação de sulcos ou ravinas, na qual a velocidade de escoamento é em torno de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$.

OLIVEIRA (1999) definiu que, a erosão desenvolvida não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos d'água subsuperficiais, dão origem a voçoroca, estágio da erosão com característica de ser de difícil controle, envolvendo enormes custos para sua recuperação.

Na ótica de um sistema, segundo afirma CHRISTOFOLETTI (1980) e SILVA *et al.* (2003), qualquer modificação no mesmo provoca rompimento de sua estabilidade, refletindo imediatamente nas condições de erosão, transporte e deposição, culminando com uma nova condição de equilíbrio. Isto é, os processos de erosão, transporte e deposição variam no decorrer do tempo e, espacialmente, são interdependentes, resultando não apenas das mudanças do fluxo, como também da carga existente. Quando se faz uma análise geral de uma bacia hidrográfica, não se podem considerar esses processos separadamente, além de outros elementos que interferem na dinâmica e funcionamento desse sistema, a exemplo, das obras de engenharia em calha de rios.

Dentre as inúmeras consequências desastrosas da erosão hídrica pode-se destacar: a remoção da camada superficial do solo, reduzindo a camada arável; a redução nos teores de matéria orgânica, na disponibilidade de nutrientes e na diversidade microbiana, na taxa de infiltração, no armazenamento e movimento de água e ar no solo, assim como a degradação da estrutura e o aumento da sedimentação. No Brasil, um dos fatores de desgaste que mais tem contribuído para a improdutividade do solo é, sem dúvida, a erosão hídrica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). Esses fatores têm influência direta nas funções do solo, interferindo em sua capacidade

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

reguladora da qualidade ambiental e no fornecimento de condições adequadas à produtividade das culturas (FERREIRA, 2005).

Concomitantemente, pode haver o carreamento de poluentes junto aos sedimentos transportados, que segundo TUNDISI *et al.* (2015), devido à complexidade dos componentes orgânico e inorgânico que são introduzidos no ar, solo e efluentes, afeta a qualidade da água.

3.1.2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO

As estimativas indicam que a erosão do solo tem ocorrido a uma taxa média de 16,35 t/ha.ano, totalizando uma perda anual de 5.334 milhões de toneladas (MACHADO, 2009). Além disso, de acordo com a FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO (1980), cerca de 80% de todo o solo do planeta sofre com as consequências da erosão. As altas taxas de perda de solo indicam que a gestão do uso do solo não foi feita apropriadamente nos locais onde são encontradas. Esse tipo de identificação só é possível devido a uma ferramenta computacional para dinâmica espacial (BESKOW *et al.*, 2009).

Uma vez que a magnitude da erosão do solo depende, em grande parte, da fisiografia vegetativa, gradiente de cobertura, inclinação e propriedades físicas e químicas inerentes dos solos (LOPES-VICENTE *et al.*, 2011), a estimativa de perda de solo torna-se grande aliada do planejamento territorial pois avalia os impactos da erosão das práticas em uso e os fatores ambientais, definindo propostas de recuperação para cada situação existente. Para isso, são utilizados modelos matemáticos, importantes instrumentos para orientação das práticas conservacionistas a serem empregadas em determinada área. A utilização desses modelos matemáticos para previsão dos processos erosivos depende da compreensão das diferentes causas que envolvem o fenômeno.

As primeiras técnicas empregadas para avaliar as taxas de perda de solo por erosão utilizavam procedimentos analógicos para obterem dados aplicados na equação. Coletores apropriados, colocados em locais adequados, eram usados na retenção de sedimentos para determinação dos parâmetros da equação (TEIXEIRA & SILVA, 2009).

O mapeamento e a avaliação do risco de erosão é uma importante ferramenta para o planejamento da gestão dos recursos naturais, permitindo que pesquisadores

proponham modificações no uso da terra adequadamente e implementem estratégias de gestão mais sustentável (SILVA *et al.*, 2010). Conforme CARVALHO *et al.* (2005) tanto o conhecimento como a quantificação dos fatores determinantes da erosão hídrica são essenciais para o planejamento de uso e ocupação do solo com base em práticas conservacionistas.

A EUPS e suas modificações são modelos empíricos que estimam as perdas médias anuais de solo de determinado local, permitindo orientar o planejamento conservacionista com base na seleção de combinações de uso do solo, manejo da vegetação e práticas capazes de manter essas perdas em níveis toleráveis (WISCMEIER & SMITH, 1978). Conforme NEVES (2015), essa equação foi desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Data Soil Loss Center* pela *Agricultural Research Service* com a participação da Universidade de *Purdue (EUA)* com base em dados de mais de 10.000 parcelas experimentais nos EUA, sendo depois revisada por Wischmeier & Smith (1965) e (1978), sendo esta última versão a mais utilizada.

A EUPS tem por objetivo prever a erosão por intermédio da estimativa das perdas de solo por erosão laminar através da multiplicação de seis fatores intrínsecos às características climáticas, propriedades do solo, paisagem do terreno, cobertura vegetal com manejo agrícola e práticas conservacionistas de modo que a magnitude da perda de solo fique situada dentro dos limites toleráveis. Segundo MELLO *et al.* (2007), a equação sugerida por WISCHMEIER & SMITH (1978) que expressa a perda anual de solo por unidade de área, é dada por:

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

A – taxa anual de perda de solo expressa em t/ha.ano;

R – fator erosividade das chuvas, dado em MJ.mm/ha. h;

K – fator erodibilidade do solo expresso em t.h/MJ.mm;

LS – fator topográfico (adimensional);

C – fator de cobertura, uso/manejo (adimensional);

P – fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A EUPS prevê apenas a erosão média da vertente, não levando em consideração

a forma da vertente, e ainda não permite quantificar a deposição. Além disso, como é um modelo empírico, pelo menos alguns de seus fatores, como K, C e P têm que ser obtidos experimentalmente, em condições semelhantes àsquelas onde será utilizado (WISCHMEIER *in* CHAVES (1995)). Outra limitação referente à natureza empírica da EUPS reside na não representação do efeito do escoamento superficial de modelos hidrológicos. Além disso, de acordo com AMORIM *et al.* (2010), devido a falta de base de dados que retratam as condições brasileiras, os fatores uso e manejo do solo e práticas conservacionistas esbarram na dificuldade de determinação de um valor mais preciso, representando também em uma limitação do uso da USLE.

Entretanto, esta equação de predição de erosão ainda é a mais utilizada no mundo, prevendo de maneira bem razoável eventos de perdas de solo. Segundo ZHANG *et al.* (2013) essa equação é empregada também para determinar distintos níveis de sensibilidade à erosão do solo e sua distribuição espacial. Embora a EUPS apresente uma formulação empírica, ainda é a de maior referência no Brasil para estimativa de perda de solo. A sua aplicação é viável graças a estudos brasileiros para parâmetros determinados em condições locais da USLE, como os de BERTONI E LOMBARDI NETO (2012).

Através da equação antes citada, é possível determinar o PNE que expressa a suscetibilidade de determinada área à erosão, indicando onde ocorreria maior ou menor erosão, sem levar em consideração os fatores antrópicos, cobertura vegetal e práticas conservacionistas (BRANDÃO, 2001). Esta equação é considerada uma simplificação da EUPS, na qual são considerados apenas a erosividade da chuva (fator R), a erodibilidade dos solos (fator K) e o fator topográfico (fator LS), sendo representado pela seguinte fórmula, de acordo com STEIN *et al.* (1987):

$$\text{PNE} = \text{R.K.LS} \quad (2)$$

PNE – potencial natural de erosão expressa em t/ha.ano;

R – fator erosividade das chuvas, dado em MJ.mm/ha. h;

K – fator erodibilidade do solo expresso em t.h/MJ.mm;

LS – fator topográfico (adimensional)

Segundo SILVA *et al.* (2007), através do PNE é possível se ter uma boa interpretação do risco de erosão. Entretanto, cabe mencionar que os valores associados ao PNE não retratam com exatidão a realidade, já que para retratar estas áreas emprega-se um modelo teórico desenvolvido em função das características do meio físico.

Além desse método, existem outros modelos também destinados a estimar a perda de sedimentos, tais como: MUSLE (Equação Universal Modificada de Perda de Solo), EPIC - *Erosion Productivity Impact Calculator* (WILLIAMS *et al.*, 1983), SWAT - *Soil and Water Assessment Tool* (ARNOLD *et al.*, 1998), WEPP – *Water Erosion Prediction Project* (LANE; NEARING, 1989).

Deste modo, apesar de tudo, a EUPS conta com a vantagem de ser composta por poucas variáveis e apresentar baixa complexidade na combinação das mesmas, conferindo a ela grande capacidade de generalização dos resultados, cabendo inclusive, desde que se empregue a mesma metodologia, relativização com dados observados em campo em comparação com outras áreas geográficas. Entretanto, existe, ainda, a necessidade de desenvolvimento de técnicas mais eficientes e baratas para estimar as condições dos solos. Essa demanda está relacionada com a produção de trabalhos de qualidade realizados a baixos custos de pesquisa e resultados em monitoramento e modelagem de risco e avaliação (STAVI & LAL, 2011).

3.1.3. EROSÃO E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE E A QUANTIDADE DE ÁGUA

Os usos múltiplos da água e suas necessidades perante o crescimento populacional, bem como as demandas industriais e agrícolas geram uma incessante pressão sobre os recursos hídricos, visto que historicamente o uso desse recurso tende a ser abusivo, onde não há a devida preocupação com o modo de extração e uso do recurso utilizado (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Conforme HERMES (2004), a origem do material particulado escoado das áreas de entorno que atinge os rios é um bom indicador das formas de uso do solo e/ou das atividades realizadas na região, identificando inclusive o nível de desequilíbrio do ambiente aquático. OUYANG *et al.* (2010) constataram que a erosão em áreas de floresta é menor quando comparada com a agricultura, a pastagem e o solo exposto. Em regiões com o recurso hídrico protegido pela mata ciliar, com suas faixas adequadas, o

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

processo artificial de purificação é praticamente nulo, sendo necessárias apenas algumas adições de elementos básicos como o cloro e flúor para o recurso tornar-se potável (TOLEDO, 2014). Desse modo, conforme CHAMBERS *et al.* (2012); VILLENEUVE *et al.* (2015) avaliações a respeito da qualidade dos recursos hídricos auxiliam o monitoramento e a gestão da água.

O crescente avanço sobre as áreas de mananciais por meio da supressão da vegetação principalmente das matas ciliares, seja pelas atividades agropecuárias ou pela expansão das áreas urbanas, tem causado efeitos extremamente deletérios sobre os recursos hídricos, já que poluentes são carregados para o curso d'água, afetando diretamente a quantidade e a qualidade da água (ROSA; FRACETO; MOSCHINI-CARLOS, 2012), podendo inclusive ocasionar graves crises energéticas em consequência da diminuição da disponibilidade de água. Além disso, diminui a fertilidade do solo e provoca o acúmulo de resíduos e defensivos químicos, prejudicando a fauna aquática e os recursos pesqueiros (MARTINS, 2014).

De acordo com TANAKA *et al.* (2015) a degradação da zona ripária tem forte influência na qualidade da água em diferentes escalas espaciais. A vegetação em uma bacia hidrográfica, de modo geral, favorece a regularização da vazão dos cursos d'água, o aumento da capacidade de armazenamento hídrico nas microbacias, na redução de processos erosivos, redução dos impactos de inundações e manutenção da qualidade da água, conforme UNESCO (2003).

Os recursos hídricos respondem diretamente aos impactos ambientais e quando o ciclo hidrológico é alterado, toda a bacia hidrográfica é comprometida (TUCCI *et al.*, 2012) uma vez que sua supressão para uso e ocupação sem planejamento, desconsiderando sua aptidão natural, pode afetar o ciclo hidrológico, as dinâmicas fluviais e causar um escoamento excessivo em áreas urbanas e agrícolas, juntamente com o aumento dos processos erosivos e do carregamento de material particulado para dentro dos corpos hídricos causando, segundo DONADIO; GALBIATTI; PAULA (2005), degradação da qualidade da água. A água infiltra de três a dez vezes mais rápida e em maior quantidade em florestas quando comparada a infiltração em áreas agrícolas e pastagens (SCHULTZ *et al.*, 2004; BORGES *et al.*, 2005).

A qualidade da água, segundo VON SPERLING (2005), é decorrente de fenômenos naturais e antrópicos, sendo ela avaliada através do IQA. Este índice é

composto por parâmetros químicos, biológicos e físicos, sendo esses os mais relacionados à questão dos processos erosivos levando-se em conta principalmente os efeitos da turbidez e dos sólidos dissolvidos totais na água. Esses provocam, conforme VON SPERLING (1998) e ANA (2016), o assoreamento dos corpos d'água, com efeitos diretos na disponibilidade de água, causando muitos males à vida aquática, além de aumentar os riscos de enchentes e comprometer a geração de energia elétrica.

A turbidez, quando resultante da ação antrópica através, principalmente, de despejos de efluentes domésticos e industriais ou de sedimentos originários da erosão do solo, acarreta sérios problemas sanitários nos recursos hídricos. Sendo assim, valores elevados de turbidez fazem com que as estações de tratamento de águas utilizem mais produtos químicos, aumentando os custos que são repassados para a população e afetam também o uso industrial, agrícola e de recreação (VON SPERLING, 1998; TUCCI *et al.*, 2012).

O estudo referente à erosão é particularmente importante para o Brasil em razão de seu sistema elétrico ser predominantemente hidráulico: cerca de 70% da geração de energia elétrica é de origem hidráulica. A presença de sedimentos nos reservatórios das usinas hidrelétricas gera muitos problemas, tais como: redução do volume hidrológico armazenado nos reservatórios à medida que há aumento do assoreamento; a influência do remanso aumenta a montante; as velocidades no lago aumentam e, com isso, maior quantidade de sedimentos passa a escoar a jusante, diminuindo a eficiência de retenção das partículas; obstrução de canais de irrigação, navegação e trechos de cursos d'água; dificuldade ou bloqueio da entrada de água em estruturas hidráulicas de sistemas de captação; alteração, destruição e degradação de sistemas aquáticos (SHI, 2000).

OLIVEIRA *et al.* (2015) ao analisar a EPS e o PNE da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, em Botucatu / SP, verificaram que a inexistência de matas ciliares em trechos do ribeirão Lavapés próximas as áreas susceptíveis a erosão contribuiu para o carreamento de sedimentos para seu interior, comprometendo o volume de água superficial e, conseqüentemente, a geração de energia.

Cabe destacar também, de acordo com MEDEIRO e YOUNG (2011), que as áreas protegidas prestam diversos serviços ambientais principalmente no que se refere à qualidade e quantidade de água para consumo e geração de energia cujos benefícios são usufruídos por grande parte da população. Elas representam uma forma efetiva de

proteger os recursos naturais, garantindo a capacidade de produção de riquezas em longo prazo (MEDEIROS; YOUNG, 2011).

Portanto, a presença de mata ciliar nas margens dos mananciais, rios, lagos, córregos e represas garante, conforme REIS *et al.* (2009) a proteção efetiva de suas margens, atuando como verdadeiros filtros, reduzindo a quantidade de material em suspensão, que levam elementos indesejáveis para as águas, amortecendo também os impactos das áreas de entorno. Assim, o conhecimento da EPS e de sua relação com a qualidade e quantidade de água pode auxiliar na tomada de decisão de políticas públicas sobre o mais adequado sistema de manejo a ser adotado tendo em vista a conservação do solo e da água, vindo de encontro com a real importância das áreas protegidas, ou seja, atuar tanto na preservação dos ecossistemas nelas contido como na manutenção da qualidade de vida das populações que nelas residem.

3.2. USO E COBERTURA DO SOLO

Nunca na história da humanidade foi tão questionada a relação que o homem mantém com o meio onde vive. A adoção de modelos de desenvolvimento que preconiza a utilização infinita dos recursos naturais acarretou diversas consequências negativas tanto à natureza como ao próprio homem. Conforme COSTA *et al.* (2015) o emprego de modelos de uso do solo nos quais seja possível notar o impacto de regulações de usos do solo alternativos e disciplinamentos futuros e de ordenamento do meio ambiente pode evitar transformações irreversíveis do solo.

O solo consiste em um dos recursos naturais mais intensamente utilizado pelo homem na produção de alimentos e, por isso, pode ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão hídrica, pelo uso e manejo inadequados. Para a utilização sustentada dos solos é necessário o conhecimento e a quantificação dos fatores que influenciam a intensidade da erosão hídrica, que variam de uma região para outra (VALLE JÚNIOR, 2008).

Segundo SILVA *et al.* (2005) o mapeamento do uso e ocupação do solo consiste em identificar e espacializar as classes de cobertura da terra, tornado possível o dimensionamento, a descrição e a avaliação das porções territoriais efetivamente utilizadas e ocupadas por atividades humanas, podendo ser pastagens, vegetação nativa, SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

solo exposto ou reflorestamento, por exemplo. Através desse recurso é possível analisar e identificar fatores de pressão e impactos sobre o ambiente, compreender as mudanças recentes, a história da área e os elos entre as características do meio biofísico e socioeconômico e, em especial, sua relação com a qualidade da água tanto que SOUZA *et al.* (2013) e FERNANDES *et al.* (2014) verificaram efeitos nocivos nos corpos d'água em áreas agrícolas rurais desenvolvidas em zonas marginais tropicais.

De acordo com VALÉRIO FILHO *et al.* (1997), é possível a utilização de informações digitais de imagens de satélites e geoprocessamento para monitorar o uso e ocupação do solo em uma microbacia, afirmando que as técnicas de sensoriamento remoto quando bem utilizadas permitem o monitoramento da dinâmica de uso do solo em uma microbacia hidrográfica.

Para PRADO (2009), o termo “cobertura da terra” refere-se à cobertura (bio) física observada sobre a superfície terrestre, isto é, aquilo que se pode extrair diretamente de imagens orbitais ou fotografias aéreas. Essa definição é fundamental, visto que, em muitas classificações e legendas existentes, nota-se uma confusão com a denominação “uso da terra”, que pode ser caracterizada pelas atividades desenvolvidas pelas pessoas que ocupam um tipo de cobertura da terra específico e interagem para mantê-lo ou modificá-lo (DI GREGÓRIO, 2004).

A caracterização do uso e ocupação do solo envolve a manipulação de grande volume de informações, necessitando-se assim do emprego de técnicas de geoprocessamento, incluindo o sensoriamento remoto. De acordo com BRITO & PRUDENTE (2005), a utilização do sensoriamento remoto é de fundamental importância porque os dados podem ser obtidos de forma rápida e confiável e as informações podem ser atualizadas por causa da repetitividade de aquisição de imagens.

No Brasil, conforme CARNEIRO (2008) ocorre uma desarticulação entre os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e os de planejamento do uso do solo, elucidando uma deslegitimação do planejamento e da legislação urbanística nas cidades, caracterizadas predominantemente pela informalidade e ilegalidade na ocupação do solo. O planejamento e ordenamento do desenvolvimento agrícola e urbano podem evitar custos onerosos à administração, gestores e, conseqüentemente, a toda população (SPERANDELLI *et al.*, 2013).

3.3. ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE

3.3.1. APA

De acordo com MMA/IBAMA (2000), as Unidades de Conservação (UC's) são definidas de acordo com sua função, podendo ser:

- Unidade de Proteção Integral, cujo objetivo principal é preservar a natureza, admitindo apenas uso indireto de seus recursos. Para este caso, incluem-se: Estação Ecológica com foco na preservação ambiental e na realização de pesquisas científicas; Reserva Biológica que visa à proteção integral da biota e demais recursos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais; Parque Nacional cuja finalidade é a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, sendo permitida a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação ambiental e de turismo ecológico; Monumento Natural em que se busca preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica; Refúgio de Vida Silvestre que visa proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para existência e reprodução de espécies ou comunidades da flora e da fauna residente ou migratória. Com exceção desse último e do Monumento Natural, em todos os casos citados, elas são de posse e de domínio público.

- Unidade de uso sustentável na qual a função principal é a compatibilização entre conservação da natureza e o uso sustentável de parcela dos recursos naturais. Nesta categoria, aparecem: Áreas de Proteção Ambiental cujos objetivos fundamentais são proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais; Área de Relevante Interesse Ecológico na qual se busca manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regula o uso admissível dessas áreas; Florestas Naturais que tem como objetivo o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica; Reservas Extrativistas, áreas utilizadas por populações extrativistas tradicionais, cujo alvo reside na proteção dos meios de vida e da cultura dessas populações; Reserva de Fauna, área utilizada para estudos técnico-científicos sobre manejo econômico sustentável de recursos faunísticos; Reservas Particulares do Patrimônio Natural com

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

finalidade de conservação da diversidade biológica; Reserva de Desenvolvimento Sustentável, área que abriga populações tradicionais com papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica.

A Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), define as Áreas de Proteção Ambiental (APA's) como:

Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem estar das populações humanas, tendo como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

As Áreas de Proteção Ambiental (APA's) representam uma categoria de Unidade de Conservação de Uso Sustentável no qual ocorrem simultaneamente atividades socioeconômicas urbanas e rurais e áreas de interesse para a preservação, podendo permanecer sob domínio particular, atendendo a interesses sociais e ambientais. Seu estabelecimento é atribuição constitucional do poder público, que por meio do artigo 225 da Constituição Federal visa criar e proteger áreas representativas do território nacional com o intuito de proteger a biodiversidade e promover o uso sustentável dos recursos naturais. Segundo a ONG OECO (2015), até junho de 2015, existiam no Brasil 294 áreas de proteção ambiental, sendo 32 na esfera federal, 185 na esfera estadual e 77 na municipal.

Atualmente, o SNUC representa o mais importante instrumento de proteção do que sobrou da Mata Atlântica, visto que conforme MYERS *et al.* (2000); SCARANO (2002) esse bioma, em função de sua riqueza e de seu alto grau de endemismo, sofre forte interferência humana, sendo portanto um dos principais hotspot de biodiversidade mundiais.

A Lei Federal nº 6.902, de 27 de abril de 1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece em seu Artigo 8º que,

(...) havendo relevante interesse público, os poderes executivos Federal, Estadual ou Municipal poderão declarar áreas dos seus territórios de interesse para a proteção ambiental, a fim de assegurar o bem estar das populações humanas, a proteção, a recuperação e a conservação dos recursos naturais (BRASIL, 1981).

A legislação impõe um maior controle e restrições no que se refere ao desenvolvimento de atividades econômicas consideradas potencialmente degradantes em uma área protegida. Entretanto, o fato de serem mantidas as atividades produtivas pode levar a conflitos de interesses e necessidade de busca por novas práticas econômicas adequadas a esta realidade (HOEFFEL *et al.*, 2008; HOEFFEL; FADINI; SEIXAS, 2010).

A APASM e a APAFD estão inseridas na Mata Atlântica, bioma que abriga cerca de 70% da população brasileira, apresentando-se muito danificada, restando apenas 27% de remanescentes. Em função disso, essa área biótica é fruto de legislação específica, através da Lei nº 41.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, tendo por finalidade resguardar os remanescentes da Mata Atlântica no País, criando mecanismos para sua recuperação em regiões onde hoje está praticamente extinta. Além disso, uma vez que esta Lei não proíbe o corte de vegetação ou ocupação de áreas em absoluto, aparece o Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, regulamentando os dispositivos da Lei supracitada, estabelecendo princípios para se promover o uso sustentável nos remanescentes de vegetação nativa. Convém destacar que um dos grandes desafios da atualidade no que se refere a esse bioma reside no fato de se formar corredores ecológicos com a finalidade de ligar seus fragmentos.

De acordo com LEUZINGER (2007), as APA's não representam unidades de conservação em sua essência, porque além de estarem inseridas em locais fortemente antropizados, essas unidades de conservação ao invés de cumprir seu papel de áreas de uso sustentável visando proteger a diversidade biológica, elas representam, na verdade, formas de disciplinar o uso do solo.

Todavia, a baixa efetividade de parte das áreas de proteção ambiental não significa sua inutilidade. Ao contrário, se fossem elaborados planos de manejo adequados e sofressem, as APA's, efetiva fiscalização, estas seriam espaços ambientais úteis à proteção do meio ambiente, com baixíssimo custo para o Estado. Criá-las apenas no papel, entretanto, para aumentar as estatísticas de volume de áreas protegidas no país, de certo não atende às necessidades de conservação (LEUZINGER, 2007).

3.3.2. APP

Outra importante consideração a ser feita refere-se às Áreas de Proteção Permanente, mais conhecidas como APP's, na qual se localizam áreas muito frágeis e que desempenham importantes papéis para o meio ambiente. De acordo com MAGALHÃES & FERREIRA (2000), as APP's têm grande importância no que se referem à sustentação da qualidade ambiental, desempenhando diversas funções tais como: dissipação da energia do escoamento superficial, proteção das margens dos rios, estabilização das encostas, abastecimento do lençol freático e proteção de nascentes, impedimento do assoreamento de corpos d'água.

De acordo com a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que 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, em seus artigos 3 e 4 faz considerações acerca das APP's e suas destinações. Segundo essa Lei, APP nada mais é que:

(...) área protegida nos termos dos art. 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Segundo REZENDE (1998), a conservação das APP's tem o objetivo de evitar a erosão dos terrenos e a destruição dos solos, preservando a integridade dos acidentes

geográficos. Como consequência do seu estabelecimento, podem ser evitadas as enchentes e inundações em terrenos baixos, já que a vegetação ajuda a fixar a água da chuva no solo e funciona como uma barreira natural contra agentes erosivos.

São consideradas APP's as florestas e demais formas de vegetação, naturais ou mesmo as plantadas, situadas ao longo de rios, nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura, no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação, as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive ao longo de lagos, lagoas ou reservatórios artificiais, nas nascentes, nas restingas, dentre outras situações.

NERY *et al.* (2013) atestam que é importantíssima a conservação da vegetação em topo de morros ou montanhas porque o uso dessas áreas é, muitas vezes, inadequado, tendo inclusive, nos últimos anos, aumentado a demanda por áreas urbanas nesses locais, podendo ocasionar conforme WEISS (2012) desmoronamentos e deslizamento de terra, já que ocorre desestruturação do solo.

Para o caso da vegetação ripária, é evidente que a degradação das matas ciliares contribui para o assoreamento dos cursos d'água, elevação da turbidez da água e erosão das margens dos cursos hídricos, transportando substâncias poluidoras como defensivos e fertilizantes agrícolas (VALLE Jr. *et al.*, 2011; GUIMARÃES e CARVALHO, 2013), sendo elas fundamentais para a preservação dos rios, lagos e represas, além de servirem como corredores ecológicos para fauna conforme SKORUPA (2003).

Segundo DOSSKEY *et al.* (2010) as características físicas e químicas da água são influenciadas pela vegetação ripária, podendo modificar processos de erosão e deposição de sedimentos e o fluxo de matéria orgânica e nutrientes dentro dos canais, principalmente através da absorção de nutrientes pela zona radicular da vegetação. Além disso, influencia também os padrões de fluxo de biodiversidade e habitat (JONES *et al.*, 2001; SUGA e TANAKA, 2013; FERNANDES *et al.*, 2014; NISBET *et al.*,

2015). Assim, deve-se observar, conforme a legislação, o estabelecimento de faixas marginais, cujas larguras mínimas sejam:

a) De 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) De 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) De 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; d) De 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; e) De 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

A figura 4 mostra as faixas marginais estabelecidas pelo Novo Código Florestal Brasileiro:

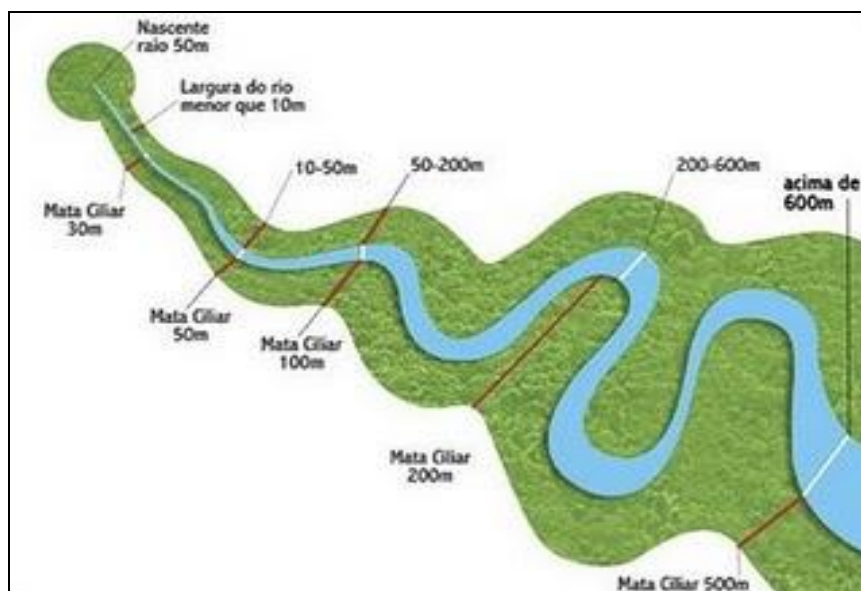


Figura 4 - Faixas marginais estabelecidas pela legislação brasileira de acordo com a largura dos rios
(Fonte: WWFBRASIL, 2012).

Complementarmente ao Código Florestal Brasileiro, têm-se também as resoluções CONAMA no que se refere às definições e delimitações a respeito das áreas de proteção permanente.

- Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

- Resolução CONAMA n° 303, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Assim, ela se mostra com um importante instrumento ambiental no que se refere ao desenvolvimento sustentável.

- Resolução CONAMA n° 369, de 28 de março de 2006, dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social e baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente.

Mesmo com o estabelecimento de uma legislação bem desenvolvida e de esforços cada vez maiores por parte de ONGs, representantes da sociedade civil e governos federal, estadual e municipal, as matas ciliares dos cursos hídricos são normalmente retiradas pelos agricultores, uma vez que nessas áreas o solo se apresenta com uma maior quantidade de material orgânico, caracterizando assim como áreas férteis (MARTINS *et al.*, 2013).

Cabe destacar que as principais causas do assoreamento de rios, ribeirões e córregos, lagos, lagoas e nascentes estão relacionadas aos desmatamentos, tanto das matas ciliares quanto das demais coberturas vegetais que, naturalmente, protegem os solos (CASTRO; MARTINEZ CASTRO; SOUZA, 2013). De acordo com estes mesmos autores, estes locais compõem a rede de drenagem da bacia hidrográfica, na qual a atual legislação florestal brasileira consagra a importância de sua preservação e recomposição visto que em várias regiões do Brasil, a vegetação ripária está hoje reduzida a fragmentos esparsos, a maioria profundamente perturbada (CARVALHO, 1999), a ponto de afetar consideravelmente a disponibilidade hídrica e sua qualidade, a diversidade das faunas aquática e silvestre, dentre outros elementos naturais.

3.4. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE MULTITEMPORAL

As geotecnologias, também conhecidas como geoprocessamento, segundo MEDEIROS (2012), compreende um conjunto de técnicas voltadas à coleta, armazenamento e processamento de informações espaciais, cartográficas, geoestatística,

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

de sensoriamento remoto, entre outros, oferecendo informações com referência geográfica. Para isso se utiliza de uma série de ferramentas computacionais denominadas Sistema de Informações Geográficas (SIG), que também conta com recursos humanos dedicados a integrar dados tabulares e espaciais, de forma que estas informações possam ser tratadas para gerar novas informações úteis que auxiliem a tomada de decisão, otimizando o processo de planejamento.

As técnicas de geoprocessamento implementadas nos Sistemas de Informações Geográficas são importantes aliadas do planejamento e avaliação do uso e degradação do solo. Permitem a realização de estimativas de perdas de solos por erosão, a classificação das terras segundo a capacidade de uso, a simulação da degradação do solo por meio de cenários, e análises espaciais com rapidez e precisão, através da álgebra de mapas (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo EASTMAN (1998) através das ferramentas do geoprocessamento é possível determinar as evoluções espaciais e temporais de diversos fenômenos geográficos, bem como as interações entre estes colaborando com as análises multitemporais. Apesar da complexidade envolvida na simulação do sistema, em grandes escalas espaciais, e em escalas temporais, estima-se ser possível fazer simulações de forma razoável e com certa confiabilidade.

CRESSIE (1993) afirma que a modelagem de variáveis medidas em diferentes locais de uma região com continuidade espacial e que mostrem alguma estrutura de correlação espacial tem sido desenvolvida desde os anos sessenta, com o desenvolvimento das análises geoestatísticas por MATHERON (1962), aumentando sua aplicação em diferentes áreas da Ciência e Engenharia como Mineração, Geologia, Ecologia, Ciências Ambientais, Saúde Pública e Climatologia.

Entretanto, conforme ROCHA (2000), além conhecer, é necessário também saber utilizar todas as ferramentas, processos e entidades que fazem parte do sistema de maneira integrada, tendo inclusive que desenvolver procedimentos de aplicabilidade com a finalidade de diagnosticar e prognosticar riscos e potencialidades ambientais em relação ao desenvolvimento das sociedades.

Diversas áreas utilizam o SIG para analisar, interpretar e representar o mundo geográfico e para compreender o comportamento espacial segundo suas perspectivas (SENER *et al.*, 2010; DEMESOUKA, VAVATSIKOS; ANAGNOSTOPOULOS, 2013;

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

RIKALOVIC; COSIC; LAZAREVIC, 2014).

O uso do SIG desponta como uma ferramenta poderosa no auxílio ao planejamento de uso dos recursos naturais (CHAVES *et al.*, 2010; VARGAS *et al.*, 2011). Dessa forma, os sistemas e técnicas permitem o estudo da evolução ambiental de uma região através de análises multitemporais, estabelecendo comparações de uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos, podendo desta forma auxiliar no monitoramento ambiental da região (GRIGIO, 2003).

Conforme PERATONI & VIANNA (2003) e LISBOA (2008), o SIG é muito empregado para embasamento de políticas públicas, auxiliando desde, por exemplo, as políticas de ordenamento e planejamento do uso do solo até o gerenciamento de recursos financeiros e humanos na área da saúde, uma vez que seus resultados são mostrados em mapas que apresentam as relações entre as diferentes variáveis envolvidas no modelo, facilitando a visualização e compreensão dos mesmos. Inclusive, nas últimas décadas, o SIG tem sofrido um grande desenvolvimento, possibilitando o aparecimento de técnicas que utilizam o formato raster ao invés de polígonos.

3.4.1. INTEGRAÇÃO ENTRE EUPS E SIG

O meio ambiente foi uma forte força motivacional no desenvolvimento dos primeiros SIG's, sendo que as aplicações ambientais constituem o objeto de muitos estudos sobre o sistema. Há diversas aplicações para o meio ambiente, tais como: expansão urbana descontrolada, desmatamento, diminuição dos impactos ambientais pelo planejamento espacial, uso e ocupação da terra. Resumindo, sua gama de aplicação é diversificada para as questões ambientais (LONGLEY *et al.*, 2013).

A integração entre SIG e modelos matemáticos de diversas naturezas com o intuito de uma visualização facilitada dos dados demandou grande empenho e esforço por parte de pesquisadores ao redor do mundo nos últimos anos, permitindo que os SIG's funcionem como um instrumento do planejamento. O SIG é uma ferramenta poderosa de análise espacial que permite a funcionalidade para capturar, armazenar, analisar, demonstrar e gerar informação geográfica (COSIC; LAZAREVIC; RIKALOVIC, 2014).

Este sistema possui três partes fundamentais: interface de usuário, as ferramentas e o sistema de gerenciamento de dados. O usuário interage com o sistema a partir da

interface gráfica, que dá acesso às ferramentas de SIG e define os recursos e funções que o software de SIG possui para o processamento dos dados geográficos. Estes dados são armazenados em formatos de arquivos, em bancos de dados ou serviços na web e são organizados por programas de gerenciamento de dados (LONGLEY *et al.*, 2013).

De acordo com CASCALES *et al.* (2013) e LONGLEY *et al.* (2013), o SIG contém dois tipos de representação: o raster (matricial) e o vetorial. Este conserva as características geométricas da figura, sendo empregado inclusive na determinação de limites. Aquele, por sua vez, é representado por pixel, elemento que possui informações e coordenadas geográficas. Entretanto, tanto o método vetorial como o método matricial é empregado para abreviar os fenômenos geográficos em dados de fácil compreensão.

Embora seja um modelo empírico, o uso combinado de sensoriamento remoto, SIG e a EUPS são técnicas que fazem a estimativa da erosão do solo e sua distribuição espacial viável e de baixo custo e de uma precisão considerável (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2011), tanto que muitos autores (MORETI *et al.*, 2003; PRADO & NOBREGA, 2005; FARINASSO *et al.*, 2006; PANDEY *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2009) evidenciaram que estes recursos apresentam grande aplicabilidade na gestão do uso do solo. Por exemplo, o mapeamento da erosão do solo, usando a integração entre sensoriamento remoto e SIG, pode identificar áreas que apresentam potencial risco de extensiva erosão inclusive em locais de difícil acesso, sendo que essa integração pode ainda fornecer informação dos valores estimados de perda de solo para diferentes locais (BABAN & YUSOF, 2001; PANDEY *et al.*, 2007).

Como exemplo dessa integração entre sensoriamento remoto, EUPS e SIG, NEVES (2015) utilizou em seu trabalho a EUPS para estimar o impacto da mudança do uso do solo através dos sedimentos evitados, observando a importância da cobertura do solo e do manejo conservacionista para a área analisada. Além disso, a estimativa mostrou também as áreas mais frágeis e favoráveis à perda de solo, podendo ser influenciado pela classe de solo, topografia ou devido às práticas de manejos adotadas. Ferramentas de geoprocessamento foram decisivas nos cálculos do trabalho, gerando vários mapas temáticos que auxiliaram nos resultados finais. Assim, finalizou frisando que o sensoriamento remoto integrado ao SIG mostrou-se eficiente quanto ao apontamento de áreas elegíveis à recuperação.

3.4.2. SRTM/MDT – DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) consistiu em uma missão da NASA realizada no ano de 2000, com o objetivo de realizar um levantamento altimétrico da superfície terrestre e a criação de um banco de dados digital para estudos de modelagem digital do terreno, sendo os produtos gerados a partir de um sistema de radares (USGS, 2012).

Segundo CARVALHO (2007), os produtos da SRTM pertencem a um conjunto de imagens de radar com capacidade representar o relevo em três dimensões: latitude, longitude e altitude (x, y, z). Ou seja, gera-se um MDT, que consiste em uma modelagem digital do terreno, onde a partir de uma determinada origem (0,0,0), tem-se para cada ponto do terreno uma coordenada x, y e z , resultando numa visualização tridimensional do terreno (COELHO JUNIOR *et al.*, 2014).

O MDT/SRTM possui diversas aplicações em análises ambientais, podendo ser usado em estudos geomorfológicos e análises de rede hidrográfica, oferecendo facilidade de análise em diferentes ângulos da área em estudo, perfis topográficos e longitudinais, além do uso para correção de imagens de sensoriamento remoto (CARVALHO & BAYER, 2008; PAZ & COLLISCHONN, 2008; ROBAIANA *et al.*, 2010). Citando COELHO JUNIOR (2014), o MDT pode ser usado em parâmetros importantes para o desenvolvimento de um país como a agricultura, o clima e os aspectos sociais de regiões e microrregiões, sendo tratado de forma diferenciada e aprofundada através das visualizações com o uso da MDT. Além disso, MIRANDA (2005) destaca seu uso no desenvolvimento sustentável da agricultura, através de programas de manejo de bacias hidrográficas, conservação de solos, preservação de recursos florestais, cumprimento do código florestal, gestão dos recursos hídricos, dentre outros.

Dentre as inúmeras vantagens da utilização dos produtos do MDT/SRTM, segundo NEVES *et al.* (2008), merecem destaque: o melhor detalhamento para mapeamento de grandes áreas, praticidade de sua utilização e redução dos custos e do tempo de execução dos trabalhos. De acordo com EGG (2012), o MDT não considera os elementos que interferem na reflectância do pixel para simular a superfície real do terreno.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Contudo, cabe mencionar a necessidade de avaliação criteriosa dos mesmos antes de sua utilização evitando-se assim super ou subestimação dos resultados, uma vez que eles podem conter certa imprecisão como precariedade da resolução na determinação dos limites de bacias, não captação de drenagem e junção de rios, entre outras considerações. Os dados da SRTM podem apresentar características indesejáveis, além das informadas pelo fornecedor, como falhas negativas e sua sensibilidade a quaisquer objetos presentes sobre a superfície do terreno e mesmo variações da cobertura vegetal (FLORENZANO, 2008). Entretanto, à medida que novos avanços tecnológicos vão aparecendo, a qualidade dos dados vai sendo melhorada, gerando resultados satisfatórios para estudos ambientais, principalmente.

Em seu estudo intitulado “Avaliação do potencial de utilização dos produtos SRTM - *Shuttle RadarTopography Mission* - por meio da análise da estimativa de perda de solo para a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos/SP” LUZ (2012), com o intuito de prever a perda de solo dessa sub-bacia, empregou imagens do SRTM para obtenção do fator topográfico (LS), um dos componentes da EUPS, a fim de quantificar as perdas de solo da região.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como foco sintetizar os materiais utilizados e os métodos empregados à realização do presente trabalho. O item 4.1 apresenta uma caracterização da área de estudo; o item 4.2 expõe os materiais utilizados e por último, o item 4.3 expõe os métodos empregados nas cinco etapas do trabalho, ou seja: 4.3.1 – Determinação dos Fatores da EUPS; 4.3.2 – Determinação da EPS para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015; 4.3.3 – Estimativa do PNE; 4.3.4 – Análises multitemporais; 4.3.5 – EPS e sua relação com a qualidade e quantidade de água.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo CBH-SM (2010), a Serra da Mantiqueira estende-se desde a Serra da Cantareira, no município de Bragança Paulista até a região do Parque Nacional do Itatiaia, adentrando em Minas Gerais até a cidade de Barbacena. Esse respeitável maciço montanhoso com cerca de 500 km de extensão espalha-se pelos estados de Minas Gerais (60%), São Paulo (30%) e Rio de Janeiro (10%). De acordo com a SETUR-MG (2015), Mantiqueira, em tupi-guarani, quer dizer serra que chora, devido a grande quantidade de nascentes e riachos encontrados em suas encostas, apresentando grande importância para a região como fonte de água potável.

O presente trabalho tem como área de estudo a APASM e APAFD, bem como a área de entorno das mesmas em um raio de aproximadamente 30 km da região limítrofe das APA's, apresentando uma área de aproximadamente 2.829.952,99 hectares, localizadas na Serra da Mantiqueira, entre as coordenadas UTM 7440000 e 7600000 sul e 325000 e 600000 oeste de Greenwich, na zona 23S. Esta região está localizada no ponto central das bacias hidrográficas do Rio Grande, Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Paraíba do Sul, situadas na Região Sudeste do Brasil, na região da Bacia Hidrográfica do rio Paraná. Conforme mostrado na figura 5, a área está inserida em dez unidades de gestão de recursos hídricos (UGRHI): Alto Rio Grande, Mogi-Guaçu, Mantiqueira, Paraíba do Sul nas vertentes do Rio de Janeiro e São Paulo, Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ), Mogi Guaçu/Pardo, Sapucaí, Verde e Preto/Paraibuna.

De acordo com o Decreto nº 91.304, de 03 de junho de 1985, que dispõe sobre a implantação de Área de Proteção Ambiental nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, e dá outras providências, os municípios que se inserem na APASM são: Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Bocaina de Minas, Delfim Moreira, Itanhandu, Itamonte, Liberdade, Marmelópolis, Passa Quatro, Passa Vinte, Piranguçu, Pouso Alto, Santa Rita do Jacutinga, Virgínia e Wenceslau Brás, no Estado de Minas Gerais; Campos do Jordão, Cruzeiro, Lavrinha, Pindamonhangaba, Piquete, Santo Antonio do Pinhal e Queluz, no Estado de São Paulo e Resende no Estado do Rio de Janeiro. Além desses municípios, por intermédio da Lei nº 9.097, de 19 de Setembro de 1995, o município de São Bento do Sapucaí, no Estado de São Paulo, passa também a integrar a APASM.

A APASM localiza-se entre as coordenadas UTM 7460000 e 7580000 sul e 412500 e 600000 oeste de Greenwich, na zona 23S, compreendendo uma região montanhosa com altitudes entre 800 m e 2.800 m. Possui uma área de 421.804 hectares, integrando o bioma Mata Atlântica, com formações mistas de campos, florestas e enclaves de matas de araucária. Essa unidade possui duas bacias principais: a do rio Sapucaí-Guaçú e a do rio Sapucaí-Mirim compondo, juntamente com outras 13 bacias, a bacia hidrográfica do Rio Grande. Portanto, as bacias dos rios Paraná, Verde, Grande, Jaguari, Sapucaí, Sapucaí-Mirim e Paraíba do Sul, entre outras, são abastecidas pela Serra da Mantiqueira.

Ao longo do tempo, outras unidades de conservação, como o Parque Nacional (PARNA) do Itatiaia – RJ, a Floresta Nacional (FLONA) de Passa-quatro – MG, o Parque Estadual de Campos de Jordão – SP, a Estação Ecológica do Papagaio em Aiuruoca- MG, o Parque Municipal do Alambari em Resende – RJ, o Parque Municipal da Jacuba em Resende – RJ, foram criadas na Serra da Mantiqueira, pelos governos federal, estaduais e por alguns municípios, além de legislação específica de gestão dessas áreas. Cabe destacar a importância da Serra da Mantiqueira e seu papel na conservação da Mata Atlântica tanto que a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, à Ciência e a Cultura) a tornou Reserva Mundial da Biosfera da Mata Atlântica em 1992, possibilitando, portanto, maior atenção por parte das entidades internacionais (RBMA, 2015).

A APAFD, criada pelo Decreto nº 38.925, do Governo Estadual de Minas

Gerais, em 17 de julho de 1997 (MINAS GERAIS, 1997), localiza-se entre as coordenadas UTM 7460000 e 7520000 sul e 350000 e 425000 oeste de Greenwich, na zona 23S, apresentando uma área de 180.073 hectares. Sua criação teve origem no licenciamento ambiental do projeto de duplicação da BR-381 - Rodovia Fernão Dias, por sugestão dos Estudos de Impacto Ambiental da obra, a fim de minimizar os efeitos decorrentes deste empreendimento rodoviário (IBITU, 1998). Tem como focos a proteção dos recursos hídricos regionais, a preservação das formações florestais remanescentes da Mata Atlântica e da fauna silvestre, através do disciplinamento de uso dos recursos naturais e de incentivos ao eco desenvolvimento regional, com vistas à melhoria da qualidade ambiental e de vida da população, além da garantia da conservação do conjunto paisagístico e cultural da região.

A APAFD é composta por duas bacias hidrográficas de grande importância nacional: a do Rio Jaguari, cujos principais afluentes são o Rio Camanducaia e os córregos Campestre, Alto de Cima, das Posses e do Cadete e a bacia do Rio Sapucaí que tem como principais afluentes o Rio Sapucaí-Mirim e o Rio Vargem Grande. Pertencem a esta área, os seguintes municípios: Toledo (MG); Extrema (MG); Itapeva (MG); Camanducaia (MG) – sede da APA; (MG); Gonçalves (MG); Sapucaí-Mirim (MG); e parte dos municípios de Paraisópolis (MG) – distrito de Costa; e Brazópolis (MG) – distrito de Luminosa. Por ser área de belezas paisagísticas impressionantes, essa região tem sofrido muito com o processo de ocupação do solo sem planejamento, com o ecoturismo desordenado e com a expansão das indústrias, atividades econômicas facilitadas pela duplicação da Rodovia Fernão Dias e proximidades dos grandes centros econômicos do país.

4.1.1. CLIMA

Conforme AB'SABER (1970), a região enquadra-se no domínio morfoclimático de “Mares de Morros”. Essa região é influenciada por diversos fatores geográficos principalmente relevo e latitude, apresentando, portanto, diversos padrões climáticos, com diferenças temporal e espacial, especialmente nos regimes pluviométricos e térmicos. De modo geral, a região em estudo apresenta clima Tropical de Altitude, predominando temperaturas médias anuais entre 15,5°C e 29°C, registrando-se temperaturas abaixo de 0°C nas grandes altitudes da região no período de inverno.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Em função desse tipo climático, a temperatura média anual registrada na região é de 22,2°C enquanto que o volume médio anual de precipitação pode chegar a 1800mm. Com relação ao volume médio mensal de precipitação sobre a região das APA's, este varia entre 23 mm e 300 mm, com maiores concentrações nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, representando 49,90% do total de precipitação anual, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso. Quando considerado os meses com as maiores índices pluviométricas, isto é, os meses compreendidos entre outubro e março, essa proporção atinge 81,25% da precipitação média anual. Em contrapartida, para o período de inverno, nos meses de junho, julho e agosto, este índice atinge o máximo de 30 mm, sendo o mês de agosto o mais seco. A figura 6 apresenta as precipitações e as temperaturas médias mensais para a área de estudo:

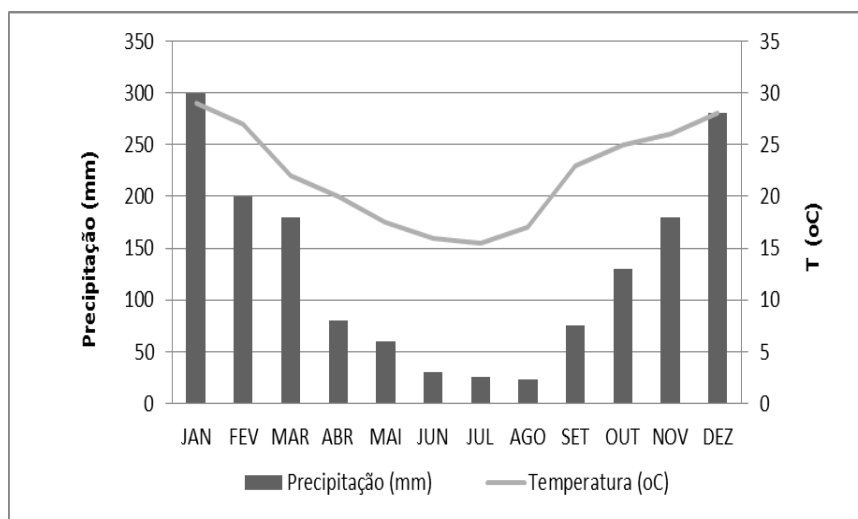


Figura 6 - Climograma referente a área de estudo (2015) (Fonte: INMET, 2015).

4.1.2. VEGETACAO

Grande parte da região estudada era dominada pela Floresta Atlântica, possuindo também trechos compostos por Cerrado e Campo de Cerrado. De acordo com Oliveira – FILHO & FONTES (2000), a Mata Atlântica, como unidade fitogeográfica, proporciona variantes fisionômicas, estruturais e florísticas muito distintas, com formas perenifólias a caducifólias relacionadas às condições climáticas, padrões geomorfológicos, modelos fisiográficos e formações pedológicas que interatuam em diferentes intensidades.

Os terrenos no entorno da área de estudo são ocupados predominantemente por

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

pastagens e remanescentes de matas de galeria e araucárias (IGAM, 2015). As classes de vegetação encontradas na região são principalmente: áreas de campo, campo rupestre, cerrado típico, floresta ombrófila, floresta ombrófila mista, floresta semicídua, eucalipto e pinus, com áreas de pastagem e solo exposto, além das áreas de tensão ecológica.

Mesmo nas regiões mais preservadas no domínio da Mata Atlântica, ou seja, na faixa leste-sul, as florestas estacionais semidecíduais estão representadas por pequenos fragmentos em topos de morros e vertentes íngremes. Com a supressão da grande floresta, as matas remanescentes, de forma geral, localizadas nos talvegues e/ou nos talvegues nascentes, nos topos das elevações são do grupo Floresta Perenifólia ou Sub-Perenifólia, como se pode notar na figura 7. Por exemplo, segundo o Plano de Manejo da APA – Rio Uberaba (2015) já foram identificadas 538 espécies de plantas ameaçadas em Minas Gerais: 87 ocorrem no bioma Mata Atlântica.



Figura 7 – Paisagem típica da região de estudo (Fonte: SILVA, H.J., 2016).

As pressões antrópicas sobre a vegetação nativa (especialmente a utilização de plantas lenhosas para produção de carvão e para fins madeireiros), a expansão da agropecuária e os reflorestamentos devastaram imensas áreas naturais existentes na Serra da Mantiqueira, havendo, portanto, a necessidade da criação de áreas destinadas à preservação de sua biodiversidade. Segundo RIBEIRO JUNIOR, L. U *et al.* (2005) SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

ocorre forte presença de agricultura e ocupação urbana nas terras baixas e planícies de inundação por toda a região.

4.1.3. GEOLOGIA

A área das APA's e do entorno, complexa região geológica, abordados no presente estudo estão inseridos de acordo com HEILBRON *et al.* (2004) na Província Mantiqueira (Faixa do Ribeira), que se desenvolveu ao longo da Orogenia Neoproterozóica Brasileiro-Pan Africana, derivado na combinação do Paleocontinente Gondwana Ocidental e, segundo ALMEIDA *et al.* (1981), também na Província Tocantins (Faixa Brasília Sul). Conforme TROUW *et al.* (2003), a área de estudo está ao sul do Cráton do São Francisco, abrangendo a faixa móvel Ribeira (NE-SW) – Domínios Andrelândia e Juiz de Fora; e a faixa móvel Brasília Sul (N-S).

Regionalmente a área de estudo está inserida no embasamento da Plataforma Sul-Americana, tradicionalmente chamado de Complexo Cristalino, constituído essencialmente por rochas magmáticas e metamórficas de alto grau, cujos cumes ultrapassam 2.000m.

De maneira geral, conforme PINTO (1991); PINTO *et al.* (1992), são encontradas na região de estudo, gnaisses a granada-biotita-plagioclásio (-microclina), granada-biotita-plagioclásio (-grafita), xisto a granada-moscovita-biotita (-cianita-estaurolita), granada-biotita (-moscovita-grafita), sillimanita-moscovita-biotita-granada-grafita); sillimanita-granada-biotita-plagioclásio (-moscovita-grafita) gnaisses quartzoso; xisto quartzoso a moscovita-quartzo, (granada) -moscovita-quartzo-biotita e biotita-quartzo; moscovita quartzito fino e quartzito grosso; filitos argilosos, calcixisto, lentes de calcário; anfibolito.

Confere-se que na região ocorrem rochas metamórficas variadas de idade Arqueana constituído por uma elevada heterogeneidade petrográfica. Por exemplo, tem-se que, segundo COMIG (1994), o Complexo Varginha é constituído por: Gnaisses homogêneos, de texturas variadas, granulação fina a muito grossa e composições diversas, com biotita eventualmente; Gnaisses bandados, com bandas claras e escuras alternadas; Gnaisses de alto grau, de composições variadas, são comuns tipos bandados e homogêneos; Gnaisses hololeucocráticos, róseos, de granulação fina a grossa e composição predominantemente sienogranítica, com bandamento dado por faixas de

diferentes granulações; Anfibólitos e gnaisses anfibolíticos; Quartzo monzonitos e quartzo sienitos, gnáissicos, por vezes passando a isótopos.

O Complexo Amparo, conforme VLACH (1993) é constituído por monzogranitos, sienogranitos, granitos porfiríticos, e às vezes porfiróides, a hornoblenda e biotita, granitos feldspáticos porfiríticos e porfiróides, granitos leucocráticos a duas micas e, com menor expressão superficial, rochas dioríticas e fácies híbridas, predominando gnaisses de diferentes faces, encobertas por um manto de intemperismo, segundo CAVALCANTI *et al.* (1998).

Os materiais mais recentes na região são representados por depósitos Quaternários caracterizados, em geral, por depósitos aluviais de planície de inundação, psamíticos e pelíticos, com conglomerados na base. Os depósitos de encosta (colúvios) constituem fácies conglomeráticas sustentadas por matriz arenosa à argilosa, ocorrendo conforme PINTO *et al.* (1991), principalmente nas encostas das principais serras.

A evolução da Plataforma Sul-Americana contribui para o desenvolvimento de grandes falhas e fraturas no relevo das APA's o que favorece a forte atuação de intemperismos na rocha matriz. Os grandes paredões verticais de rochas existentes nas regiões correspondem aos planos de falhas, apresentando muitas estruturas com esse tipo de movimentação crustal. Em função das poucas pesquisas mineralógicas realizadas na área, seu potencial mineral é considerado baixo. As cadeias orogênicas antigas do Brasil estiveram (e estão) submetidas a várias fases erosivas, motivo pelo qual se encontram bastante desgastado. Devem ter possuído elevadas altitudes, mas nos dias atuais apresentam aspecto serrano em várias porções.

4.1.4. GEOMORFOLOGIA

A Serra da Mantiqueira caracteriza-se por um relevo escarpado em direção ao Vale do Paraíba e intensamente dissecado pela erosão diferencial em direção à unidade Planalto Sul de Minas (COMIG, 1994). Estas feições de relevo são caracterizadas por morros e colinas convexas alinhados estruturalmente, e entremeados por extensos depósitos aluvionares ao longo das principais drenagens. A área de estudo está enquadrada no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros Florestados, que possuem as seguintes características:

- Predominam topos arredondados, vertentes com perfis convexas a

retilíneos. A drenagem é de alta densidade, padrão dendrítico a retangular, com vales abertos a fechados e planícies aluvionares interiores desenvolvidas;

- Originalmente recobertos por florestas em todos os setores do relevo (com exceção dos campos de altitude nas partes elevadas da serra da Mantiqueira), o que promove o desenvolvimento de mantos de alteração espessos e carga sedimentar fina nas drenagens;
- A diferença textural entre os horizontes residuais e o saprolito podem causar movimentos de massa durante episódios de intensa precipitação;
- Os espessos mantos de alteração são periodicamente removidos por processos erosivos devidos a mudanças climáticas pretéritas e tectonismo, possibilitando o entulhamento de cabeceiras e vales por matérias coluviais.

O relevo da serra é composto basicamente por cristas alinhadas e vertentes convexo-côncavas íngremes, recobertas por espesso manto de intemperismo latossólico, recobertas originalmente por florestas, atualmente substituídas em grande parte por pastagens. Observa-se também a existência de amplas planícies de inundação ao longo das drenagens controladas por soleiras rochosas que permitem a deposição e movimentação de sedimentos ao longo de sistemas fluviais meandrantos. A figura 8 demonstra o padrão de relevo predominante na serra da Mantiqueira, com cristas alinhadas e maciças elevados, sustentadas por litologias mais resistentes.

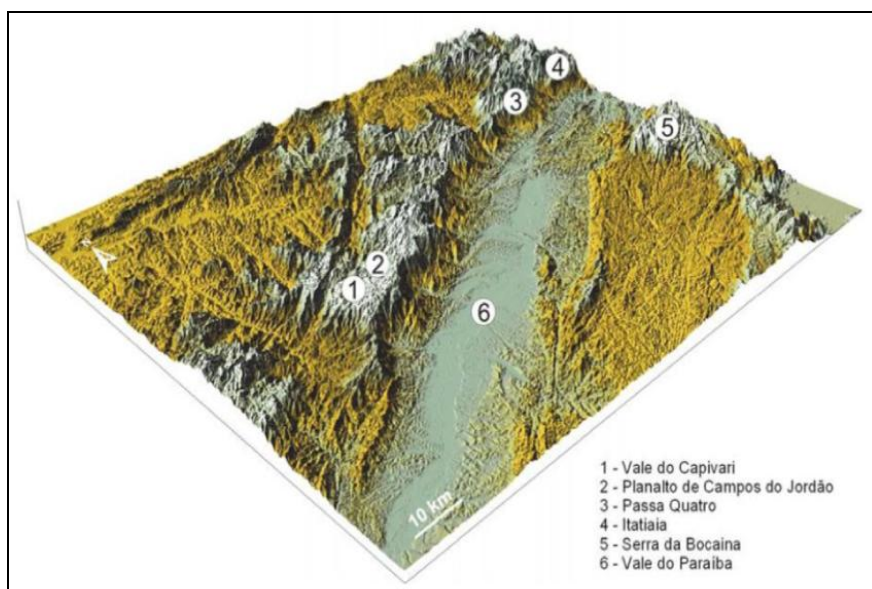


Figura 8 - Vista geral do relevo que ocorre nas APASM, APAFD e área de entorno (Fonte: IF, 2008).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

As altitudes da região variam entre 800 e 2000m, permitindo o estabelecimento de drenagens com gradientes elevados, susceptíveis ao aproveitamento hidroenergético, no qual muitos dos seus rios apresentam vales maduros, dominados por elevações e encostas suaves e vegetação de campos. A configuração tectônica da Serra da Mantiqueira e do Planalto Sul de Minas estabelece soleiras nas drenagens que permitem a deposição sedimentar. Atualmente, à montante destas soleiras, se estabelecem planícies de inundação meandantes onde predominam os processos de transporte e deposição de sedimentos.

4.1.5. SOLOS E ASPECTOS PEDOLÓGICOS

Os solos da região de estudo são espessos no alto da serra apresentando, em muitos pontos, rochas expostas devido à ausência dos mesmos em suas faldas. Quanto às características pedológicas da área de estudo, estão presentes Argissolos, Cambissolos e Latossolos, vinculados ao relevo ondulado. Os relevos mais íngremes condicionam perfis pedológicos menos evoluídos, câmbicos e litólicos, com frequentes exposições de rochas entremeadas. Nas formas mais suaves, devido às formações superficiais delgadas de textura argilosa e areno-argilosa, alteram-se horizontes latossólicos (Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho escuro Distrófico, sendo o primeiro de ocorrência mais usual) e Argilossolos. Nas drenagens e baixios, instalam-se associações de sedimentos aluviais com solos hidromórficos.

Sob o ponto de vista geotécnico, os materiais inconsolidados encontrados são: saprolito cinza claro arenoso, solo residual jovem róseo predominantemente argiloso, solo residual maduro castanho avermelhado areno-argiloso e por fim uma fina camada de solo orgânico superficial. Nas áreas de planície aluvionar são encontrados solos hidromórficos siltosos de coloração cinza. Em alguns pontos do terreno é possível encontrar blocos de gnaiss finamente bandados. O tipo latossolo vermelho-amarelo álico (saturados em alumínio) predomina sobre o domínio gnáissico enquanto que o latossolo vermelho-tijolo (saturados em ferro) aparece sobre rochas máficas/ultramáficas.

Com base nos conceitos e definições estabelecidos pela EMBRAPA (2006) são encontrados na área das APA's os seguintes tipos de solos: CX3 – cambissolo háplico Tb distrófico A; CX14 - cambissolo háplico distrófico plíntico A; LVA9 – latossolo

vermelho-amarelo distrófico A; LVA18 – latossolo vermelho-amarelo distrófico plíntico A; LVA30 – latossolo vermelho-amarelo distrófico e álico; LV51 – latossolo vermelho distrófico; PVA39 – argissolo vermelho-amarelo distrófico. A tabela 1 apresenta uma breve caracterização dos tipos de solos encontrados nas APA's:

Tabela 1 – Caracterização dos solos mapeados nas APASM e APAFD (EMBRAPA, 2006).

SÍMBOLO	CLASSIFICAÇÃO EMBRAPA (2006)
CX3	Cambissolo háplico Tb distrófico A moderado textura argilosa cascalhenta e Floresta Tropical Subcaducifólia relevo forte-ondulado substrato Metarritmito Argiloso.
CX14	Cambissolo háplico distrófico plíntico A moderado textura argilosa concrecionária + Cambissolo Háplico Tb Distrófico léptico A moderado textura média concrecionária fase Cerrado Típico relevo ondulado substrato Quartzito.
LVA9	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura argilosa fase Cerrado Ralo relevo plano e suave-ondulado substrato argiloso + Quartzito.
LVA18	Latossolo vermelho-amarelo álico e distrófico plíntico A moderado textura média concrecionária fase Cerrado Ralo relevo plano e suave-ondulado substrato Quartzito sob couraça leterítica.
LVA30	Latossolo vermelho-amarelo álico e distrófico A fraco e moderado textura média e argilosa relevo suave-ondulado e plano.
LV51	Latossolos Vermelhos distróficos + Latossolos Vermelhos distroféricos textura argilosa ambos A moderado e A proeminente relevo suave-ondulado e plano.
PVA39	Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico Ta e Tb textura média/ argilosa e média relevo suave ondulado.

Com relação à área de entorno, além dos supracitados, encontram-se: CX4 - cambissolo háplico Tb distrófico plíntico A; CX7 - cambissolo háplico distrófico plíntico A; LV25 – latossolo vermelho distrófico; LV37 – latossolo vermelho distrófico; PVA9 – argissolo vermelho-amarelo distrófico; PVA80 – argissolo vermelho-amarelo eutrófico.

Na região observa-se que há exploração de areia de depósitos aluvionares, utilizada na construção civil. Esses depósitos são explorados através do uso de dragagem no leito dos rios.

4.1.6. POPULAÇÃO E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A área de estudo abrange 132 municípios, sendo que 33 deles localizam-se dentro da APASM e da APAFD. Segundo IBGE (2015) por meio da estimativa populacional desse mesmo ano, tem-se, atualmente, um total de 4.465.293 habitantes nessa região, sendo que desse total, 713.379 habitantes vivem na área das APA's.

A APASM e APAFD ainda apresentam um desenvolvimento tipicamente rural, embora sua adjacência exiba um processo de industrialização muito avançado, contando com inúmeras indústrias de ponta como, por exemplo, Itajubá, Pouso Alegre e Santa Rita do Sapucaí, municípios com grandes indústrias do setor tecnológico, helicópteros, produtos farmacêuticos, dentre outras; Guaratinguetá, Taubaté, Pindamonhangaba e São José dos Campos, polos de grandes indústrias nacionais como, por exemplo, as automobilísticas e as de aviação; Volta Redonda, com a presença da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN).

De modo geral, os municípios inseridos na área de estudo destacam-se pelo grande potencial agropecuário e do setor de turismo. Com relação às cidades mineiras pertencentes a estas APA's, verifica-se que a principal atividade econômica desenvolvida nessa região é a agropecuária, com destaque para a atividade leiteira, de laticínios e a agrícola, com milho, café, feijão, hortaliças e frutos cítricos, todos desenvolvidos em pequena escala, constituindo basicamente a agricultura de subsistência. Em alguns municípios, o setor industrial começa a se desenvolver, com indústrias de pequeno porte, principalmente as de produção de alimentos, moveleira e mineração (ao longo de muitos trechos de rios da região, existem inúmeras dragagens). Os municípios do estado de São Paulo inseridos na APASM, a exemplo dos municípios mineiros, apresentam também base econômica agropecuária com forte desenvolvimento do setor turístico. Já os municípios fluminenses abrangidos pela área de estudo possuem forte apelo agropecuário e turístico, sendo que a única cidade do estado inserido na APASM apresenta base econômica industrial, com destaque para as indústrias automobilísticas, farmacêuticas e químicas.

A tabela 2 apresenta, resumidamente, o IDH-M dos municípios das APA's para ano de 2014, constatando que os municípios apresentam IDH-M que varia de médio a elevado, com destaque aos municípios de Pindamonhangaba, em São Paulo, Resende no

estado do Rio de Janeiro e Itanhandu, em Minas Gerais, que apresentam os melhores indicadores por estado.

Tabela 2 – IDH dos municípios pertencentes a APASM e APAFD.

MUNICÍPIO	IDHM ¹	MUNICÍPIO	IDHM ¹
MINAS GERAIS		Piranguçu	0,685
Airuoca	0,668	Pouso Alto	0,710
Alagoa	0,649	Sta Rita do Jacutinga	0,682
Baependi	0,681	Sapucaí-Mirim	0,680
Bocaina de Minas	0,645	Toledo	0,661
Brazópolis	0,692	Virgínia	0,651
Camanducaia	0,689	Wenceslau Braz	0,678
Delfim Moreira	0,669	SÃO PAULO	
Extrema	0,732	Campos do Jordão	0,749
Gonçalves	0,683	Cruzeiro	0,729
Itamonte	0,705	Lavrinha	0,729
Itanhandu	0,739	Pindamonhangaba	0,773
Itapeva	0,720	Piquete	0,757
Liberdade	0,672	Queluz	0,722
Marmelópolis	0,650	São Bento do Sapucaí	0,720
Paraisópolis	0,729	Sto Antônio do Pinhal	0,706
Passa Quatro	0,715	RIO DE JANEIRO	
Passavinte	0,648	Resende	0,768

(1) Ano de referência 2010 (Atlas Brasil, 2013).

4.2. MATERIAIS

A primeira etapa, dentro do SIG, foi a padronização do *datum* e da projeção a ser utilizada. Foi adotado o *datum* horizontal SIRGAS 2000, sistema de referência geocêntrico oficialmente adotado pelo Brasil desde 2005 e *datum* vertical Imbituba. A projeção utilizada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), sendo que a área de estudo está toda inserida dentro do fuso 23S.

Para obtenção da base de dados físicos foi adotado o critério temporal, observando-se o período do estudo da série histórica que compreende aos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Para compor a base cartográfica deste trabalho foram obtidos a rede de drenagem e a hipsometria da APASM e da APAFD bem como da área de entorno, um modelo digital de terreno (MDT) para a região, mapas de solo (pedologia) e mapas do uso e cobertura do solo para cada ano da série. A rede de drenagem da área de entorno e de ambas as APA's foi extraída através do SRTM. Por último foram obtidos os mapas de uso da terra, elaborados por classificação supervisionada baseado em imagens da família LANDSAT, cujas informações mais detalhadas do mesmo, encontram-se no anexo II (pág. 171).

A tabela 3 apresenta, de maneira resumida, os materiais empregados neste trabalho para a obtenção dos produtos de geoprocessamento:

Tabela 3 – Materiais empregados no trabalho.

BASE CARTOGRÁFICA E APLICATIVOS	UTILIZAÇÃO	FONTE
SIG - ArcGIS versão 10.2	Elaboração e operação de mapas	ESRI (2013)
MS – Office	Elaboração de textos, gráficos, tabelas	MICROSOFT (2007)
EROSIVIDADE BRASIL - 1ª VERSÃO	Determinação do fator R	SILVA (2006)
SRTM	Determinação do fator LS	CNPM /EMBRAPA
Resolução 90 m USLE-2D 4.1	Determinação do fator LS	DESMET & GOVERS (1996)
IDRISI Andes 15.0	Determinação do fator LS	EASTMAN (1995)
Mapa de Uso e Cobertura do solo – 1985, 1995, 2005 e 2015	Determinação do fator C	LANDSAT 5 – bandas 3, 4, 5 (1985, 1995, 2005) LANDSAT 8 - bandas 4, 5, 6 (2015)
Carta pedológica 1:1.000.000	Determinação do fator K	IBGE – RADAM BRASIL (1983)

4.3. MÉTODOS

Iniciou-se o trabalho com uma revisão bibliográfica que engloba os assuntos pertinentes às características e processos presentes na área de estudo. Estudos

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

conceituais foram apresentados sobre solos, processos erosivos e equação de predição de perdas de solo; uso e ocupação do solo; Sistema de Informação Geográfica; Áreas de Proteção Ambiental. As informações sobre as características do meio foram selecionadas a partir do levantamento dos dados existentes (mapas, imagens de satélite, relatórios e bibliografias). Em seguida, procedeu-se à organização desses dados em forma de quadros, tabelas, mapas, figuras. A maioria dos dados socioeconômicos compilados para o presente trabalho teve por base os censos demográficos realizados pelo IBGE.

Este trabalho, de maneira ampla, apresenta cinco fases principais de execução: Determinação dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo; Determinação da EPS; Determinação do PNE; Análise Multitemporal; EPS e a relação entre qualidade e quantidade de água frente aos processos erosivos. O esquema geral da metodologia empregada no presente trabalho foi representado através de um fluxograma em função da facilidade de organização e compreensão da estrutura de execução deste trabalho, sendo descritas, a seguir, as etapas enumeradas no esquema conforme a figura 9.

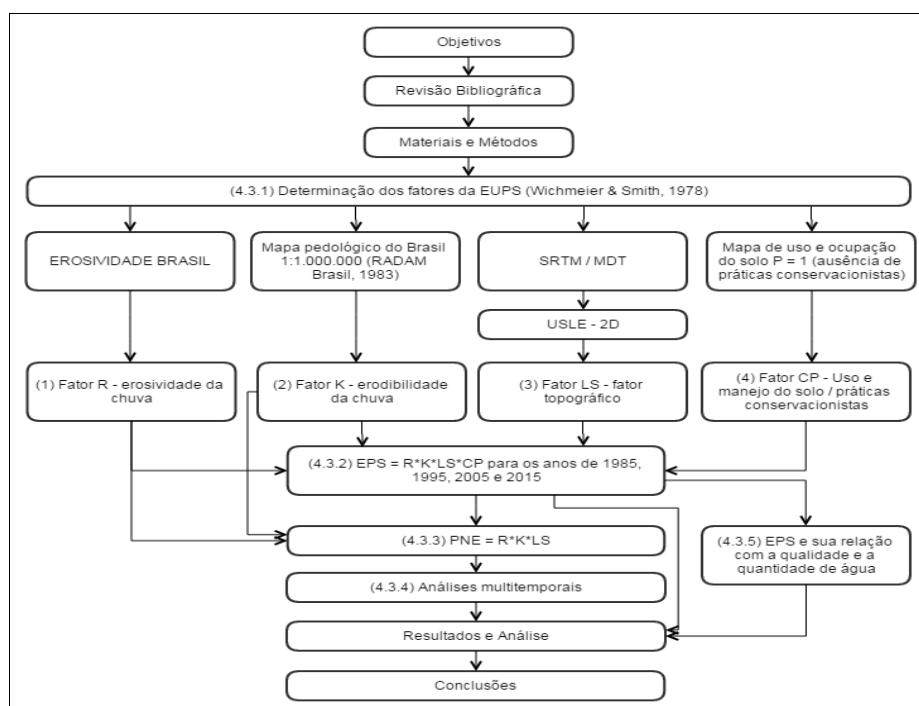


Figura 9 - Esquema simplificado dos procedimentos metodológicos.

4.3.1. DETERMINAÇÃO DOS FATORES DA EUPS

A EUPS (WISCHMEIER & SMITH, 1978) representa uma equação responsável pela determinação da perda média anual de solo de maneira simples, sendo resultado da multiplicação dos seguintes fatores: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, declividade do terreno, comprimento da rampa, uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas. A descrição do modo como estes fatores foram determinados está apresentada a seguir.

Fator R: erosividade da chuva

De acordo com WISCHMEIER & SMITH (1962) este fator expressa a capacidade da chuva em uma dada localidade de causar erosão, sendo ele representado por valor numérico que pode ser determinado através do índice IE_{30} para cada evento chuvoso com capacidade erosiva. Em certa medida, representa um índice de torrencialidade que quantifica o efeito do impacto de uma gota da chuva. Entre os fatores da USLE, apenas o fator R é calculado diretamente a partir de registros pluviográficos, enquanto que os demais são relativos à parcela-padrão (AMORIM *et al.*, 2009).

Considerando que os dados pluviográficos são escassos ou inexistentes em países subdesenvolvidos e que as análises dos diagramas dos pluviógrafos são extremamente morosas e trabalhosas, diversos pesquisadores correlacionaram o índice de erosão com fatores climáticos de fácil medida e que não requerem registros de intensidade da chuva (DEMARCHI, 2012).

Estimaram-se os valores do fator erosividade da chuva através do EROSIVIDADE BRASIL - 1ª VERSÃO (SILVA, 2006), software que apresenta os índices de erosividade de todo Brasil. Uma vez determinada a erosividade dos 133 municípios inseridos na área de estudo através de consulta ao banco de dados desse programa, esses dados foram interpolados no próprio ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013) através do método da Krigagem ordinária, empregando modelo do tipo esférico e semivariograma.

De acordo com ISAAKS & SRIVASTAVA (1989) a Krigagem ordinária é

linear e não-viciada: esta porque seleciona o valor do erro residual igual a zero e aquela porque as estimativas tem por base as combinações lineares ponderadas dos dados selecionados. Além disso, este método tira proveito dos dados e da sua posição geográfica para determinar as interpolações minimizando a variância dos erros, sendo considerado um bom método de interpolação de dados.

Feita a interpolação, foi necessário reclassificar o mapa gerado para as linhas isoerodentes, conforme literatura especializada. Para se interpretar o resultado encontrado para este fator foi adotada a metodologia proposta por MELLO *et al.* (2007) apresentada na tabela 4.

Tabela 4 - Classes interpretativas de erosividade da chuva.

CLASSE DE EROSIVIDADE (MJ.mm/ha.h.ano)	INTERPRETAÇÃO
< 2500	Muito baixa
2500 – 5000	Baixa
5000 – 7000	Média
7000 – 9000	Alta
> 9000	Muito alta

Fonte: adaptado de SANTOS (2008).

Fator K: erodibilidade do solo

Esse fator, conforme BERTONI & LOMBARDI NETO (2010), relaciona-se com as características do solo, principalmente as referentes à velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento, resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

Primeiramente, recortou-se o mapa pedológico do Brasil 1:1.000.000 obtida junto ao IBGE - RADAMBRASIL (1983) no formato da área de estudo, não sendo destacado afloramentos rochosos. Em seguida, utilizando o ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013), foi realizada a conversão dessa carta pedológica do formato vetorial para o formato matricial. Neste mesmo SIG, após a rasterização deste mapa, promoveu-se a reclassificação, no qual para cada grupo de solo foi atribuído um valor de referência do fator K, conforme literatura especializada.

A interpretação dos resultados do fator K ficou a cargo das classes

interpretativas sugeridas CARVALHO (1994 *apud* SILVA e ALVARES, 2005), mostradas na tabela 5:

Tabela 5 - Classes interpretativas de erodibilidade do solo.

LIMITES DE VALORES (ton.h/MJ.mm)	INTERPRETAÇÃO
< 0.01529	Baixa
0.01529 – 0.03058	Média a Alta
> 0.03058	Alta

Fonte: CARVALHO (1994 *apud* SILVA & ALVARES, 2005).

Fator LS: fator topográfico

O fator LS segundo WISCHMEIER e SMITH (1978) pauta-se diretamente com as características do relevo do terreno.

Em primeiro lugar, foi necessário definir o MDT. Para geração do MDT da área de estudo foi necessário utilizar imagens do SRTM com resolução espacial de 90 metros, obtidas gratuitamente do site da EMBRAPA e processadas através do software ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013). Uma vez que a área de estudo abrangia várias cenas do SRTM - EMBRAPA (2010) foi necessário fazer um mosaico no qual se utilizaram as seguintes cenas: 23VC, 23VD, 23XC, 23YA, 23YB, 23ZA, 23YC, 23YD, 23ZC.

Para este estudo, a determinação do fator topográfico foi realizada utilizando-se o software USLE – 2D, proposto por DESMET & GOVERS (1996). Por meio do MDT, este programa determina o comprimento de encosta L através da equação 3 proposto por DESMET & GOVERS (1996):

$$L = (A(i,j) + D2)^{m+1} - A(i,j)^{m+1} / x^m \times D^{m+2} \times 22,13^m \quad (3)$$

Onde:

A(i,j): Área de contribuição de uma célula com coordenadas (i,j) [m²]

D: Resolução espacial ou tamanho da célula [m]

X: Valor da direção de escoamento

m: depende do declive

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

O fator S declive empregado neste trabalho seguiu a metodologia sugerida por WISCHMEIER & SMITH (1978), embora o USLE – 2D permita sua determinação por algoritmos de MC COOL (1987, 1989), de GOVERS (1991), além do de NEARING (1997). Deste modo, o algoritmo de WISCHMEIER & SMITH (1978) para a determinação do fator S, tem a seguinte fórmula representada pela equação 4:

$$S = 65,41 \sin 2 \theta + 4,56 \sin \theta + 0,065 \quad (4)$$

Onde:

S: Fator de declividade (adimensional)

θ : declividade (%)

Primeiramente, converteu-se o MDT para IDRISI (.rst) já que o USLE - 2D é compatível com este SIG e criou-se um raster que limitasse a área de estudo. Em seguida, implementaram-se estes arquivos no programa, sendo necessário a especificação de uma opção para a determinação da direção do fluxo: no caso, optou-se pelo método *flux decomposition* que, segundo VAN OOST & GOVERS (2000), em atendimento a área definida e a exposição das encostas presentes, ocorre a decomposição do escoamento.

Por último, foi necessário efetuar a reclassificação do mesmo, agrupando os valores em classes. Entretanto, para a determinação da EPS e do PNE foi usado o mapa não reclassificado. A interpretação das classes do fator LS teve por base a metodologia proposta por SILVA & SCHULZ (2003) definida na tabela 6.

Tabela 6 - Classes interpretativas do fator LS.

FATOR LS	INTERPRETAÇÃO
<1	Amenização
= 1	Neutralidade
1 – 10	Aumento da perda
10 – 50	Aumento da perda
50 – 100	Aumento da perda
> 100	Aumento da perda

Fonte: SILVA & SCHULZ (2003).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Convém destacar que não se considera o declive côncavo ou convexo, isto é, ele é tido praticamente como uniforme uma vez que, de acordo com BERTONI e LOMBARDI (2010), seu efeito nas perdas de solo por erosão ainda não foi bem avaliado.

Fator C: uso e manejo do solo

O fator C corresponde ao efeito que a vegetação proporciona ao solo, sendo, portanto, a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). Entretanto, há uma grande dificuldade na determinação deste fator em virtude das diversas combinações possíveis de erosividade, cultura, sistema de cultivo, tipo de preparo e manejo e tipo de solo (BERTOL *et al.*, 2002).

Para a geração do layer relativo ao fator C utilizou-se o mapa de uso e cobertura realizado por COELHO (2016), que desenvolveu os mapas de uso e cobertura do solo por meio da composição colorida falsa cor de imagens dos satélites LANDSAT 5 (anos 1985, 1995 e 2005/bandas 3, 4 e 5) e LANDSAT 8 (ano 2015/bandas 4, 5 e 6), disponibilizadas no site do INPE (2015), sendo necessário inclusive, em alguns casos, proceder o melhoramento dessas imagens de satélite. Superada esta etapa, foi possível determinar os valores do fator C tendo por base esses mapas.

Foram determinadas sete classes temáticas de uso e cobertura do solo: eucalipto, mata nativa, água, atividades agrícolas, solo exposto, urbano e outros. Entretanto, em função da grande dificuldade de determinação de informações precisas, os valores atribuídos ao fator C para cada uma dessas classes foram determinados de modo indireto, através da consulta a literatura especializada, levando-se em consideração as semelhanças entre as características do meio, principalmente com relação ao clima, cabendo destacar que este fator, de acordo com BERTOL *et al.* (2002), varia de 0 a 1: este informa condições de sistemas não conservacionistas enquanto que aquele revela condições de manejo conservacionistas. Por último, efetuou-se a reclassificação das classes de uso e ocupação do solo no ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013), obtendo o mapa-síntese corresponde ao fator C para cada um dos anos considerados neste estudo.

Fator P: práticas conservacionistas

O fator de práticas conservacionistas de suporte (P) representa o efeito de práticas de conservação do solo como preparo e plantio em contorno (nível) e terraceamento e plantio em faixas em contorno, expressando a relação entre a perda de solo com determinada prática conservacionista e a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (morro abaixo) (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (2010), plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e algumas capinas são as práticas conservacionistas mais comuns empregadas em culturas. Essas práticas, segundo afirmam HUNINK *et al.* (2012) tem a finalidade de atenuar a erosão do solo.

Como o fator C (uso e manejo do solo), seu valor varia de 0 a 1, sendo que o valor 1 pondera a pior situação no que se refere às práticas conservacionistas. Na maior parte das áreas destinadas à agropecuária na região de estudo verifica-se a prática da agricultura familiar de pequeno porte, empregando técnicas nada conservacionistas, adotando-se, portanto $P = 1$. Além disso, de acordo com AMORIN *et al.* (2010) há ainda uma falta de base de dados no Brasil para este fator, havendo necessidades de estudos mais detalhados a respeito desse fator.

4.3.2. EPS

Os arquivos da EPS para os períodos de 1985, 1995, 2005 e 2015, resultaram da multiplicação entre os mapas-sínteses dos fatores da EUPS anteriormente citados e que, para cada uma das características por eles representadas, já estavam atribuídos certos valores conforme literatura especializada. Essa multiplicação foi efetuada através do uso do ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013), por meio da ferramenta *raster calculator*, no qual se integrou cada um dos fatores envolvidos. O resultado desse processamento apresentou-se em forma de mapa, representando os mapas-síntese da EPS para os anos considerados neste estudo.

A interpretação dos valores encontrados para a EPS teve por base a metodologia proposta por IRVEM *et al.* (2007), apresentada na tabela 7.

Tabela 7 – Classes de interpretação da EPS.

CLASSE DE PERDA DE SOLO (ton/ha.ano)	INTERPRETAÇÃO
<5	Muito baixa
5 – 12	Baixa
12 – 50	Moderada
50 – 100	Severa
100 – 200	Muito severa
>200	Extremamente severa

Fonte: IRVEM *et al.* (2007).

Com a finalidade de conhecer a evolução dos processos erosivos que ocorrem na região de estudo, a EPS foi determinada tanto para as APA's como para seu entorno em um raio de aproximadamente 30 Km do limite das APA's.

4.3.3. PNE

Como a EPS, através da ferramenta *raster calculator* do ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013), multiplicou-se cada um dos fatores da equação anteriormente mencionada, gerando o arquivo PNE, que posteriormente foi reclassificado, gerando por fim o mapa-síntese do PNE. Com base na metodologia proposta por SILVA & SANTOS (2008) apresentada na tabela 8 realizou-se a interpretação dos resultados do Potencial Natural de Erosão.

Tabela 8 - Classes interpretativas do PNE.

CLASSE DE PERDA DE SOLO (ton/ha.ano)	INTERPRETAÇÃO
<400	Muito baixo
400 – 800	Baixo
800 – 1600	Moderado
>1600	Extremamente severo.

Fonte: SILVA & SANTOS (2008).

O PNE foi determinada tanto para as APA's como para seu entorno em um raio, como no caso da EPS, de aproximadamente 30 Km do limite das APA's a fim de se compreender o papel do meio físico em relação a erosão.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

4.3.4. ANÁLISE MULTITEMPORAL

A análise multitemporal foi efetuada comparando tanto o mapa de uso e cobertura do solo como o mapa da EPS para os períodos de 1985, 1995, 2005, finalizando com o ano de 2015 com o intuito de verificar as transformações que ocorreram na região de estudo nesse intervalo de tempo.

Os mapas de uso e cobertura do solo quando comparados entre si, mostram as atividades antrópicas desenvolvidas na região de entorno bem como na APASM e na APAFD ao longo desses 30 anos. Também, por intermédio do mesmo software, foram elaborados os mapas-síntese de EPS, resultado da integração dos fatores da EUPS através do SIG, apresentando como o processo erosivo se desenvolveu na região ao longo do período considerado. Para todos estes casos, os resultados gerados foram tabelados com o intuito de apresentar as porcentagens de aumento ou diminuição das classes dos referidos mapas.

4.3.5. EPS E A RELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE E A QUANTIDADE DE ÁGUA FRENTE AOS PROCESSOS EROSIVOS

Devido a sua grande importância, o monitoramento da qualidade e da quantidade de água é exigido no âmbito do Plano Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), lei que estabelece como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, e atribui o indicador de qualidade da água (enquadramento do corpo d’água) como um de seus instrumentos.

Com base nos princípios dessa lei, foi necessário levantar informações a respeito do IQA, da demanda de consumo, dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, bem como das usinas hidrelétricas presentes nas UGRHI presentes na área de estudo através da consulta de sites de órgãos federais, estaduais e municipais. Esses dados, posteriormente, foram organizados em formato de planilha.

Para compor as informações a respeito do IQA, turbidez e sólidos totais que visam indicar a situação dos recursos hídricos da área de estudo foram agregadas informações da Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e do Instituto Estadual

do Ambiente (INEA-RJ) em formato de planilha eletrônica das UGRHI's que abrangem a área estudada.

Para obter a demanda foi realizado um cálculo utilizando a quantidade de água média consumida por habitante por dia em cada UGRHI pelo número populacional do ano de 2015, desconsiderando outros usos como uso industrial ou agropecuário, por exemplo. Os dados de consumo foram obtidos através de um levantamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, administrado pelo Governo Federal no âmbito da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades (MCID) enquanto que as informações referentes à população foram retiradas do site do IBGE.

Para o levantamento das informações referentes à quantidade e atuação das centrais hidrelétricas existentes na área estudada foi necessário consultar o sites do MME, sendo estas informações apresentadas em forma de tabelas.

Por fim, foram consultados os Planos Diretores de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas presentes na área de estudo a fim de levantar informações a respeito da existência ou não dos instrumentos de gestão de recursos hídricos que visam principalmente garantir a quantidade e a qualidade da água.

Sendo assim, todas as informações acima descritas tiveram por finalidade verificar como o aporte de sedimentos, através da EPS, interfere na qualidade e na disponibilidade de água, levando em consideração principalmente os parâmetros do IQA turbidez e os sólidos totais, a fim de estabelecer a importância da preservação, proteção e recuperação de áreas de mananciais prejudicados pelo uso inadequado do solo para a garantia de um gerenciamento mais racional não só da terra como também da qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O atual capítulo tem por finalidade apresentar os resultados obtidos com a realização deste trabalho assim como suas análises. Os resultados estão apresentados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, enquanto que os dados analisados foram obtidos através da extração do valor de cada pixel dos mapas-síntese determinados neste estudo para o formato de pontos reunidos em tabelas de atributos e assim, poderem ser analisados estatisticamente. O item 5.1 apresenta os resultados dos fatores da EPS; o item 5.2 exibe a análise multitemporal da EPS; o item 5.3 mostra a análise do PNE; o item 5.4 expõe a análise multitemporal do fator C e da EPS por estado. Por último, o item 5.5 apresenta a importância da recuperação de áreas acometidas pela erosão para a manutenção da quantidade e qualidade da água.

5.1. FATORES DA EPS

FATOR R

De acordo com dados obtidos junto ao software EROSIVIDADE BRASIL – 1ª VERSÃO (2006), a área de estudo teve como valor mínimo estimado da erosividade anual, no sistema internacional de unidades, 6.157,38 MJ.mm/ha.h.ano e, para valor máximo estimado, 7.519,19 MJ.mm/ha.h.ano.

De acordo com a tabela 9 referente a erosividade da chuva na área de estudo, cujo mapa-síntese é apresentado pelo apêndice I (pág.139) tem-se que 69,80% da área de estudo estão enquadradas, conforme metodologia proposta por SANTOS (2007) (tabela 4, pág. 58), na classe interpretativa [1] Média enquanto que o restante, ou seja, 30,20%, englobam somente a classe interpretativa [2] Alta.

Tabela 9 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes de erosividade.

FATOR R	%	ENTORNO (ha)	%	APA's (ha)
[1] 5000 - 7000	69,80	1.975.307,19	61,19	368.288,54
[2] 7000 - 9000	30,20	854.645,80	38,81	233.588,46
TOTAL	100	2.829.952,99	100	601.877,00

Quando considerado somente a área das APA's, no qual o mapa-síntese está

representado no apêndice II (pág.140), as mesmas classes interpretativas anteriormente citadas passam a ser representadas por 61,19% e 38,81%, respectivamente. Sendo assim, tem-se que esse fator tem um grau de influência de médio a alto grau sobre a perda de solo na área de estudo.

Com base nos altos índices pluviométricos da região, é evidente que o fator erosividade da chuva tenha grande atuação no desencadeamento dos processos erosivos, principalmente em áreas de solo exposto e acentuada declividade. Entretanto, uma vez que o clima tropical de altitude atua na região, nota-se que a irregularidade de sua distribuição ao longo do ano reflita de maneira diferenciada nesse processo, sendo a precipitação mais intensa no período de outubro a março. Foi constatado que 81,25% das chuvas com capacidades erosivas ocorrem nesses meses. Portanto, as intervenções no local, principalmente as práticas agrícolas, merecem maiores cuidados nesses meses, pois essas atividades quando mal manejadas causam transporte de sedimentos do solo.

FATOR K

O mapa de solo da área de estudo foi obtido pela substituição das classes de solo pelo seu respectivo fator K. Na tabela 10 são mostrados os valores médios do fator K adotados neste trabalho.

Tabela 10 – Valores médios para o fator K dos tipos de solos da região de estudo.

TIPO DE SOLO	FATOR K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	REFERÊNCIA
[1] Latossolo vermelho distrófico	0,0090	DENARDIN & SILVA <i>et al.</i> (apud CECÍLIO, 2008)
[2] Latossolo vermelho amarelo distrófico	0,0100	SILVA <i>et al.</i> (apud SILVA <i>et al.</i> , 2000)
[3] Cambissolo háplico distrófico	0,0115	DENARDIN & SILVA <i>et al.</i> (apud CECÍLIO, 2008)
[4] Argissolo vermelho amarelo eutrófico	0,0140	MARQUES (1996)
[5] Argissolo vermelho amarelo distrófico	0,0270	MARQUES (1996)

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Os percentuais de ocorrência dos tipos de solo da área de estudo são apresentados na tabela 11. Nota-se uma predominância dos tipos [2] Latossolo vermelho amarelo distrófico – LVAd e [3] Cambissolo háplico distrófico tanto na região das APA's como na área do entorno. Na região do entorno, cujo mapa-síntese é mostrado no apêndice III (pág.141), nota-se que os solos [2] e [3], especificamente, localizam-se junto aos pontos mais altos da área de estudo, local de inserção das APA's, cujo mapa-síntese é apresentado no apêndice IV (pág.142).

Tabela 11 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes de solos.

FATOR K	%	ENTORNO (ha)	%	APA's (ha)
[1] LVd	16,29	460.999,34	0,83	4.995,58
[2] LVAd	48,05	1.359.792,41	49,28	296.604,99
[3] CXd	22,84	646.361,26	46,04	277.104,17
[4] PVAe	7,57	214.227,44	2,14	12.880,17
[5] PVAd	5,25	148.572,53	1,71	10.292,10
TOTAL	100	2.829.952,99	100	601.877,00

As classes [1], [2], [3] e [4] que juntas correspondem a 94,75% da área de entorno, de acordo com as classes interpretativas sugeridas por CARVALHO 1994 *apud* SILVA e ALVARES, 2005) (tabela 5, pág. 59), são considerados de baixa vulnerabilidade a erosão, enquanto que para o tipo [5], cuja taxa percentual de ocupação da área é de 5,25%, é considerado de médio a alto potencial erosivo. Se considerado somente a área abrangida pela APASM e APAFD, as áreas correspondentes à classe de baixo potencial erosivo perfazem 98,29% enquanto que a classe de médio a alto potencial erosivo soma somente 1,71%.

De modo geral, destaca-se que a maior parte da área é dominada pelo Latossolo que segundo LAFAYETTE *et al.* (2011) apresenta-se mais resistente a erosão pelo fato de ser mais profundo, com menor diferenciação textural entre os horizontes superficial e sub-superficial, melhor drenagem e estrutura mais reforçada pelo intemperismo mais avançado. Entretanto, cabe mencionar que os solos [2] e [3], tipos de solo com maior taxa de ocorrência na área de estudo, sobe de 70,88% para 95,33% quando considerada em exclusividade a área das APA's. Assim, percebe-se que grande parte da estrutura pedológica do local apresenta baixo potencial de erosão.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Estes mesmos tipos, a título de complementação da informação apresentada acima, segundo FOSTER *et al.* (1981), são classificados, com relação ao potencial erosivo nas seguintes classes: classe muito baixo [1], baixo [2], [3] e [4] e médio [5]. Além disso, conforme SILVA *et al.* (1997), alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de manejo sejam as mesmas.

FATOR LS

A distribuição dos percentuais de ocorrência do fator LS tanto da região de entorno como das APA's são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes do fator topográfico.

FATOR LS	%	ENTORNO (ha)	%	APA (ha)
[1] < 1	47,66	1.348.755,60	48,68	292.993,72
[2] = 1	1,05	29.714,51	0,23	1.384,32
[3] 1 - 10	33,6	950.864,20	19,98	120.255,02
[4] 10 - 50	15,55	440.057,69	25,53	153.659,20
[5] 50 - 100	1,9	53.769,11	4,84	29.130,85
[6] > 100	0,24	6.791,89	0,74	4.453,89
TOTAL	100	2.829.952,99	100	601.877,00

[1] amenização; [2] neutralidade; [3] aumento da perda; [4] aumento da perda; [5] aumento da perda; [6] aumento da perda.

Na região de entorno, cujo mapa-síntese do fator LS, determinado com base na metodologia proposta por SILVA & SCHULZ (2003) (tabela 6, pág. 60), mostrado pelo apêndice V (pág.143), tem-se a presença de seis classes interpretativas, distribuídas da seguinte maneira: 47,66% da área de estudo referem-se à classe [1] que atua na amenização do relevo no processo erosivo do solo, apontando que nestas áreas a deposição é maior que o carreamento de sedimentos enquanto que em 1,05% da área estudada, correspondente a classe [2], há uma neutralidade do fator LS na erosão, por se tratar do elemento neutro da multiplicação. Entretanto, em 51,29% da área, correspondente às classes [3], [4], [5] e [6], verifica-se que o aumento gradativo dos

valores referentes ao fator LS intensifica o processo erosivo. Nesses locais, têm-se, portanto, que o carreamento supera a deposição de sedimentos. Uma vez considerada apenas a região abrangida pela APASM e APAFD, cujo mapa-síntese é apresentado pelo apêndice VI (pág.144), 48,88% da área tende a atenuar o processo erosivo, 0,23% a neutralizar o fenômeno embora em 51,09% há aumento da perda de solo com o aumento do valor do fator LS. Sendo assim, nota-se que grande parte da área de estudo apresenta grande propensão ao desencadeamento do processo erosivo.

Esses resultados vão de encontro à configuração tectônica da Serra da Mantiqueira e do Planalto Sul de Minas em que se estabelecem soleiras nas drenagens permitindo a deposição sedimentar. Além disso, à montante destas soleiras, verifica-se a presença de planícies de inundação meandranes onde predominam os processos de transporte e deposição de sedimentos.

Logo, em geral, com relação aos valores apresentados para o fator LS sob o ponto de vista da erosão, tem-se que em 48,71% da região estudada, este fator atuou com menor intensidade nas causas do processo erosivo, entretanto na maior parte da área, ou seja, em 51,29%, as características geomorfológicas da região são capazes de proporcionar grandes velocidades da água sobre o terreno, favorecendo o desprendimento do solo, principalmente na região central da área de estudo, onde se localizam as maiores altimetrias e onde estão situadas a APASM e APAFD. Sendo assim, nota-se que grande parte da área de estudo apresenta grande propensão ao desencadeamento do processo erosivo.

FATOR C – análise multitemporal

A distribuição espacial dos fatores C empregados neste estudo foi analisada por meio da reclassificação dos mapas de uso e cobertura do solo, estando apresentados os valores utilizados para cada classe temática na tabela 13, sendo todos eles retirados da literatura. ATUCHA *et al.* (2013), estudando a influência da cobertura vegetal na taxa de erosão, constataram que esta prática além de reduzir as perdas de nutrientes pelo escoamento superficial, minimizou a erosão. Dessa maneira, é necessário mencionar que as classes mais baixas apontam para a existência de uma cobertura do solo mais elevada e as classes mais altas, uma cobertura do solo mais reduzida.

Tabela 13 – Fator C para as diferentes classes temáticas de uso e cobertura do solo da região de estudo

CLASSE TEMÁTICA	FATOR C	REFERÊNCIA
[1] Eucalipto	0,008	FERNANDES (2008)
[2] Mata nativa	0,012	FARINASSO <i>et al.</i> (2006)
[3] / [4] Água / outros	0,000	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2011)
[5] Atividades agrícolas	0,010	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2011)
[6] Solo exposto	1,000	FARINASSO <i>et al.</i> (2006)
[7] Urbano	0,001	FARINASSO <i>et al.</i> (2006)

Como citado anteriormente, o mapa de uso e cobertura do solo teve por base as imagens do sensor TM/LANDSAT-5 e OLI/LANDSAT-8. De acordo com OLIVEIRA (2009), a classificação da imagem do sensor TM/LANDSAT-5 mostra-se com qualidade inferior quando comparada com as imagens dos sensores AVNIR-2/ALOS ou CCD/CBERS-2 no tocante à resolução espacial. Segundo essa mesma autora, o resultado insatisfatório desta classificação deve-se principalmente as bandas utilizadas, visto que elas não separaram os temas de interesse de forma favorável ao tipo de classificação e também à resolução do pixel de 30 metros.

Na tabela 14 é mostrada a distribuição percentual do fator uso e manejo do solo da área de entorno bem como das APASM e APAFD.

Tabela 14 – Valores de áreas da região de entorno e das APASM e APAFD por classes temáticas do fator uso e manejo do solo.

ENTORNO								
ANO	1985		1995		2005		2015	
CLASSES	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)
[1]Eucalipto	0,68	19.243,68	0,70	19.809,67	0,72	20.375,66	0,78	22.073,63
[2] Mata nativa	24,95	706.073,27	20,84	589.762,20	28,51	806.819,60	32,37	916.055,78
[3] / [4] Água / outros (*)	5,38	152.251,47	3,16	89.426,51	2,07	58.580,03	5,79	163.854,28
[5] Atividades agrícolas	65,35	1.849.374,28	70,33	1.990.305,94	63,12	1.786.266,33	52,23	1.478.084,45
[6] Solo exposto	3,23	91.407,48	4,32	122.253,97	4,25	120.273,00	7,01	198.379,70
[7] Urbano	0,41	11.602,81	0,65	18.394,69	1,33	37.638,37	1,82	51.505,14
TOTAL	100	2.829.952,99	100	2.829.952,99	100	2.829.952,99	100	2.829.952,99

APASM E APAFD								
ANO	1985		1995		2005		2015	
CLASSES	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)
[1]Eucalipto	1,46	8.787,40	1,11	6.680,83	0,89	5.356,71	1,06	6.379,90
[2] Mata nativa	36,22	217.999,85	39,09	235.273,72	44,88	270.122,40	48,98	294.799,35
[3] / [4] Água / outros (*)	4,81	28.950,28	1,51	90.88,34	2,14	12.880,17	6,71	40.385,95
[5] Atividades agrícolas	55,15	331.935,17	53,95	3247.12,64	49,72	299.253,24	37,74	227.148,38
[6] Solo exposto	2,28	13.722,80	4,24	255.19,58	2,12	12.759,79	5,14	30.936,48
[7] Urbano	0,08	481,50	0,1	6.01,88	0,25	1.504,69	0,37	2.226,94
TOTAL	100	601.877,00	100	601.877,00	100	601.877,00	100	601.877,00

(*) refere-se a nuvens, sombras, rochas.

As classes temáticas de uso e ocupação dos solos mais evidentes em todos os anos considerados nesta análise multitemporal foram as classes [5] Atividades agrícolas

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

e [2] Mata nativa. Quando considerada a região de entorno, as classes atividades agrícolas e mata nativa representaram, respectivamente, 65,35% e 24,95% da área total de estudo para o ano de 1985; 70,33% e 20,84%, para o período de 1995. Entretanto, houve uma redução da classe mata nativa em relação ao período de 1985, enquanto que as atividades agrícolas apresentaram considerável aumento. Em 2005, 63,12% da área de estudo estava ocupada pelas atividades agrícolas e 28,51%, por mata nativa. Observa-se que neste ano, a classe temática mata nativa apresentou um aumento percentual em relação aos anos anteriores enquanto que a classe atividades agrícolas teve uma considerável queda percentual. Por fim, o ano de 2015 teve 52,23% da área ocupada pelas atividades agrícolas e 32,37%, por mata nativa.

Os mapas-síntese do fator uso e ocupação dos solos referentes à área de entorno, elaborados por COELHO (2016), são mostrados nos apêndices VII, IX, XI e XIII (pág.145, 147, 149 e 151, respectivamente). Convém destacar que para este estudo a classe atividades agrícolas engloba agricultura familiar de subsistência (prática comum na área de estudo), pastagem natural e pastagem cultivada, já que existem diversos casos intermediários de difícil distinção.

Em relação à somente a área das APA's, cujos mapas-síntese são mostrados nos apêndices VIII, X, XII, XIV (págs. 146, 148, 150 e 152, respectivamente), verifica-se predominância das mesmas classes acuradas na região de entorno, isto é, atividades agrícolas e mata nativa.

Ao longo da série histórica, nota-se que houve ampliação de plantio de eucalipto na área de entorno, enquanto que dentro das APA's, verificou-se, em geral, redução. Com relação à classe mata nativa que devido às dificuldades de classificação, foram incluídas também as matas ciliares, percebe-se um aumento tanto na área de entorno como nas APA's. Enquanto as atividades agrícolas apresentaram movimento contrário ao apresentado pela classe mata nativa, havendo redução na área de entorno e nas APA's, a classe solo exposto apresentou flutuações, sendo esse fato normal em função das áreas descobertas de plantio ou mesmo de pastagem rala dependendo da época do ano, entretanto com destaque ao ano de 2015 que apresentou valores mais significativos. Por fim, ambas apresentaram crescimento urbano progressivo, o que representa maiores pressões sobre as áreas protegidas.

É importante salientar que na área de estudo ainda é marcante a presença de

pequenos municípios, embora haja grandes cidades de considerável ocupação urbano-industrial. No entanto a ocupação do espaço foi efetuada, em geral, de maneira desordenada. Assim, a expansão dos municípios em áreas protegidas, principalmente sobre áreas que abrigam mananciais de abastecimento de água, acaba por comprometer a disponibilidade e a qualidade da água, representando risco social crítico com relação aos recursos hídricos, superando inclusive as demandas locais, como é o caso da área de estudo.

No tocante à classe água/outros, cujo fator C, segundo OLIVEIRA *et al.* (2011) assume valor nulo por se tratar de uma classe com pouca ou nenhuma interferência no processo erosivo, incluiu-se junto à classe temática água o termo outros, referindo-se a nuvens, sombras, rochas, visto na área de estudo aparecem nas encostas da Serra da Mantiqueira terrenos escarpados sombreando algumas áreas além do aparecimento de rochas expostas. Outra dificuldade a se considerar refere-se às culturas de subsistência que foram agrupadas junto à pastagem na classe temática atividades agrícolas devido à dificuldade de identificação das mesmas.

Sendo assim, em função das dificuldades na classificação das imagens de satélite é difícil afirmar com exatidão a representação das classes temáticas, visto que a qualidade da classificação (acurácia) pode ser comprometida pelas áreas de transição, muitas vezes abruptas, entre os temas e por variações nas respostas espectrais dos alvos, como a quantidade de água no solo ou na vegetação em diferentes épocas do ano (OLIVEIRA, 2009).

FATOR P

A região de estudo tem como destaque forte atuação da pecuária leiteira e da agricultura familiar e de subsistência. De acordo com MERTEN & MINELLA (2002), a substituição da mata ribeirinha para o desenvolvimento de sistemas agrícolas nas margens de rios tem provocado a deterioração do sistema hídrico já que a exploração dessas áreas desconsidera técnicas adequadas de manejo, além do desconhecimento do potencial agrícola local.

As matas ciliares atuam na minimização do impacto agrícola nos corpos d'água através da retenção de nutrientes e poluentes (UDAWATTA; GERRETT;

KALLENBACH, 2010), além de evitar o assoreamento dos mesmos, que de acordo com SOUBHIA & BIANCHINI (2014) favorece o aumento da velocidade da corrente próxima a uma das margens deslocando o eixo do curso de água formando meandros no qual se verifica maior deposição de material sedimentar na planície do rio, potencializando o problema das inundações. Foi verificada em campo a pouca ou quase inexistência de práticas conservacionistas, havendo inclusive, pequenas culturas desenvolvidas nas margens dos rios, conforme figura 10.



(a) 7513927 O - 460618 S (agosto/2016)



(b) 7514256 O - 458476 S (agosto/2016)

Figura 10 – Detalhe das práticas agrícolas na área de estudo
(Fonte: SILVA, H.J., 2016).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Portanto, com base no que foi anteriormente exposto, foi adotado o valor um para este fator, considerando a ausência de um manejo conservacionista e de um planejamento das atividades urbanas.

5.2. EPS – ANÁLISE MULTITEMPORAL

Através do modelo EUPS, por intermédio da calculadora raster do software ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2013), foram multiplicados o fator R (erosividade da chuva), o fator K (erodibilidade dos solos), o fator LS (topografia), o fator C (uso e cobertura do solo) e o fator P (práticas conservacionistas) anteriormente citados e descritos, ou seja, os fatores naturais e antrópicos, obtendo como resposta a EPS, seguindo critérios de classificação proposta por IRVEM *et al.* (2007) (tabela 7, pág. 63), sendo ela apresentada primeiramente para a região de entorno e, depois, para a área das APASM e APAFD.

Os estudos multitemporais realizados permitiram estimar as diferenças ocorridas com relação à evolução dos processos erosivos na área de entorno. A distribuição espacial dos percentuais da EPS na área de entorno está apresentada na tabela 15.

Tabela 15 – Valores de áreas da região de entorno por classes da EPS.

CLASSES/ ANO	1985		1995		2005		2015	
(ton/ha.ano)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)
[1] < 5	75,39	2.133.501,56	74,41	2.105.768,02	73,86	2.090.203,28	73,95	2.092.750,24
[2] 5 - 12	11,32	320.350,68	11,32	320.350,68	11,61	328.557,54	10,79	305.351,93
[3] 12 - 50	10,42	294.881,10	10,54	298.277,05	10,94	309.596,86	10,29	291.202,16
[4] 50 - 100	1,26	35.657,41	1,31	37.072,38	1,55	43.864,27	1,56	44.147,27
[5] 100-200	0,49	13.866,77	0,49	13.866,77	0,68	19.243,68	1,08	30.563,49
[6] > 200	1,12	31.695,47	1,93	54.618,09	1,36	38.487,36	2,33	65.937,90
TOTAL	100	2.829.952,99	100	2.829.952,99	100	2.829.952,99	100	2.829.952,99

[1] muito baixa; [2] baixa; [3] moderada; [4] severa; [5] muito severa; [6] extremamente severa.

Na região do entorno, nos quais os mapas-síntese referentes à EPS são apresentados nos apêndices XV, XVII, XIX E XXI (pág.153, 155, 157 e 159) para os

anos 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente, observa-se que houve uma predominância da classe [1], ocupando 75,39%; 74,41%; 73,86% e 73,95% da área total nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente. Logo após, vem a classe [2] ocupando 11,32% da área total tanto no ano de 1985 como em 1995, 11,61% da área total em 2005 e, em 2015, 10,79%. Considerando as classes [2] e [3], elas ocuparam 21,74% da região de estudo no ano de 1985, subindo para 21,86% da área em 1995. Essas mesmas classes, atingiram a proporção de 22,55% no período de 2005 e, por último, no ano de 2015, elas passaram a representar 21,08% da área total analisada. Quando analisadas as três últimas classes que apresentam as maiores taxas de perda de solo, ou seja, as classes [4], [5] e [6] ainda que ocupando áreas menores em relação às outras classes, juntas estas somatizaram 2,87% da área total em 1985, 3,73% no período de 1995, 3,59% em 2005 e 4,97% em 2015.

Apesar da presença de Latossolos e Cambissolo, cuja suscetibilidade a erosão é menor, a classe de uso atividades agrícolas associada com declividades mais acentuadas condicionam o desenvolvimento de processos erosivos mais críticos. Nas áreas urbanas desenvolvidas tanto em áreas mais planas como o caso da região do vale do Paraíba como em áreas montanhosas como as cidades do sul de Minas Gerais ou região serrana do Rio de Janeiro, cujo fator C é classificado como baixo, minimizando os impactos diretos no solo visto que reduz o transporte de sedimentos, verificou-se a ocorrência de classes mais brandas de erosão, embora a percolação das águas deva ser analisada e considerada com maiores cautelas porque elas podem contaminar o lençol freático. Outra observação que deve ser considerada é que as áreas de solo exposto, independente da declividade ou tipo de solo, sempre apresentaram valores mais acentuados de erosão. No caso da cobertura vegetal representada pela mata nativa e eucalipto, cujos fatores C são próximos, é evidente que cumprem um papel determinante na minimização dos impactos advindos dos processos erosivos, entretanto em alguns locais onde predominou cobertura com vegetação com mata ciliar ou reflorestamento a EPS apresentou-se alta, principalmente por causa alto LS. Com isso, é possível observar que o LS, junto com o uso e a cobertura do solo tem grande influência na EPS.

Portanto, estimou-se via EPS que a massa total de solo lançada nas 10 UGRHI na região de entorno chegou a 9.418,3 ton/ha.ano em 2015 distribuídas de maneira irregular para cada uma das UGRHI. Para tanto, será necessário espacializar a

contribuição para verificar as interferências causadas pela EPS em cada uma delas. Diante disso, verifica-se qual a importância de cada uma em função do uso dos recursos hídricos esboçando um programa de recuperação das áreas já degradadas, a fim de minimizar os impactos causados pelo desmatamento existente.

Quando considerada apenas as áreas envolvidas pelas APASM e APAFD, os resultados referentes à distribuição espacial da EPS são mostrados na tabela 16.

Tabela 16 – Valores de áreas da APASM e da APAFD por classes da EPS.

CLASSES / ANO	1985		1995		2005		2015	
(ton/ha.ano)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)
[1] < 5	63,5	382.191,90	61,4	369.552,48	62,03	373.344,30	63,39	381.529,83
[2] 5 - 12	13,09	78.785,70	13,3	80.049,64	13,51	81.313,58	12,23	73.609,56
[3] 12 - 50	19,14	115.199,26	19,47	117.185,45	19,91	119.833,71	18,34	110.384,24
[4] 50 - 100	2,74	16.491,43	3,09	18.598,00	3,05	18.357,25	3,01	18.116,50
[5] 100 - 200	0,41	2.467,70	0,48	2.889,01	0,43	2.588,07	0,64	3.852,01
[6] > 200	1,12	6.741,02	2,26	13.602,42	1,07	6.440,08	2,39	14.384,86
TOTAL	100	601.877,00	100	601.877,00	100	601.877,00	100	601.877,00

[1] muito baixa; [2] baixa; [3] moderada; [4] severa; [5] muito severa; [6] extremamente severa.

Para a APASM e APAFD, cujos mapas-síntese da EPS são exibidos nos apêndices XVI, XVIII, XX E XXII (pag. 154, 156, 158 e 160) para os anos 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente, nota-se que a mesma tendência observada para a área total se repete para esta parcela da área discutida neste estudo. Esses valores indicam que na maior parte da área de estudo, a EPS representada pelas classes [1] e [2] está dentro do limite de sustentabilidade no que diz respeito à erosão laminar. Entretanto, as demais classes, mesmo que em escalas menores, apontam para a necessidade de intervenções nesses locais no que diz respeito à redução da perda de sedimentos para os limites considerados normais, valendo destacar que nos pontos onde predominaram as últimas duas classes de interpretação da EPS, isto é, as classes [5] e [6], a capacidade de uso do solo não está em conformidade com as práticas conservacionistas, com consequências diretas em relação à perda de solo, tanto que o valor da EPS na área das APA's estimado em 2015 correspondeu 1.977,85 ton/ha.ano.

Comparando os mapas-síntese da EPS com os demais mapas, nota-se que as

áreas menos susceptíveis à erosão correspondem às áreas de baixa declividade, onde predominam os Latossolos no qual, quando considerado o valor K adotado neste trabalho, apresenta-se como o tipo de solo mais resistente à erosão dentre todos apresentados na área de estudo. Além disso, esses solos por apresentarem baixa fertilidade natural acabam sendo explorados para o desenvolvimento de pastagens. Entretanto, mesmo nesses locais, verifica-se a presença de erosão, em função justamente do uso e ocupação do solo aí existente, com destaque principalmente para as atividades agrícolas que certamente não se preocupam com a utilização de técnicas de manejo e conservação do solo, como mostrado na figura 11.

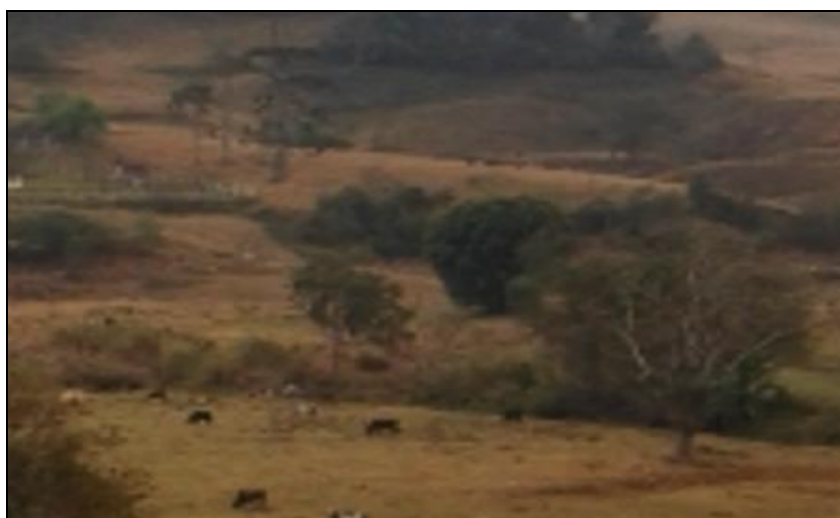


Figura 11 – Área de pastagem as margens do rio Bicas no município de Wenceslau Braz – MG.
(b) 7511166 O - 461043 S (agosto/2016)

Nos pontos mais altos da área das APA's, onde a presença da vegetação nativa é marcante, encontraram-se locais com distintas classes de erosão. Esse fato acontece porque mesmo nessas áreas protegidas verifica-se forte ação antrópica em seus limites, havendo desde áreas com solo exposto, presença de agrupamentos urbanos e também forte presença das atividades agrícolas. Esses fatores, associados com as características geomorfológicas da região e com os períodos de chuvas torrenciais, faz com que a área estudada desperte maiores atenções com relação aos problemas decorrentes dos processos erosivos, bem como com a própria erosão, apresentando também diversas feições erosivas lineares (ravinas e boçorocas) como mostrado na figura 12.



Figura 12 – Voçoroca em área de pastagem (agosto, 2016).
7518617O – 458854S

Portanto, tem-se que a espacialização da EPS está associada, principalmente, à geomorfologia da região e ao uso e ocupação do solo. Neles é possível notar que as áreas com EPS inferior a 12 ton/ha.ano estão localizadas em terrenos mais planos, locais com domínio dos Latossolos. No entanto, as estimativas superiores a 50 ton/ha.ano estão situadas nas regiões de maior declividade, isto é, em 5,59%, ou seja, nos cumes dos morros, encostas e divisores das microbacias hidrográficas existentes na região, estando presentes os demais tipos de solo, principalmente, os Argissolos e nas áreas de solo exposto e com atividades agrícolas, visto que a susceptibilidade a erosão aumenta em locais com elevados declives (BAPTISTA, 2003 e FARINASSO, 2005).

É importante ressaltar ainda que devido às limitações da USLE, os valores estimados não podem ser tomados quantitativamente, devem apenas ser analisados qualitativamente quanto ao potencial das áreas em perder solo por erosão hídrica laminar (STEIN *et al.*, 1987). Além do mais, o conhecimento detalhado dos fatores da EUPS pode contribuir para o planejamento conservacionista da região, principalmente aquelas que apresentam forte declividade e elevado índice pluviométrico, pois o excesso de sedimentos desprendidos juntamente com a água das chuvas atingem os corpos d'água, podendo afetar inclusive sua integridade.

Na figura 13 é mostrada a ampliação dos mapas-síntese de todos os fatores que compõem a EPS 2015 na qual os seis pontos escolhidos, definidos entre A e F, tiveram por base o mapa de uso e cobertura do solo, podendo assim analisar como a EPS se comporta para diferentes tipos de usos do solo além de também ser possível analisar o

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

comportamento do PNE com relação aos fatores físicos da região de estudo, cujos valores identificados para cada ponto estão indicados na tabela 17.

Tabela 17 - Valores encontrados para os fatores da EUPS e seus resultados para os 6 pontos destacados nas ampliações.

CLASSE DE USO	R	K	LS	PNE	CP	EPS
[A] Eucalipto	7206,972168	0,01	0	0	0,008	0
[B] Mata nativa	7208,771913	0,01	6,249429	450,5070825	0,012	5,40608499
[C] Água / outros	7210,655273	0,01	0	0	0	0
[D] Ativ. agrícolas	7203,552246	0,01	23,790661	1713,772695	0,01	17,13772695
[E] Solo exposto	7212,538086	0,01	11,042355	796,43406	1	796,43406
[F] Urbano	7203,440918	0,01	20,736227	1493,721861	0,001	1,493721861

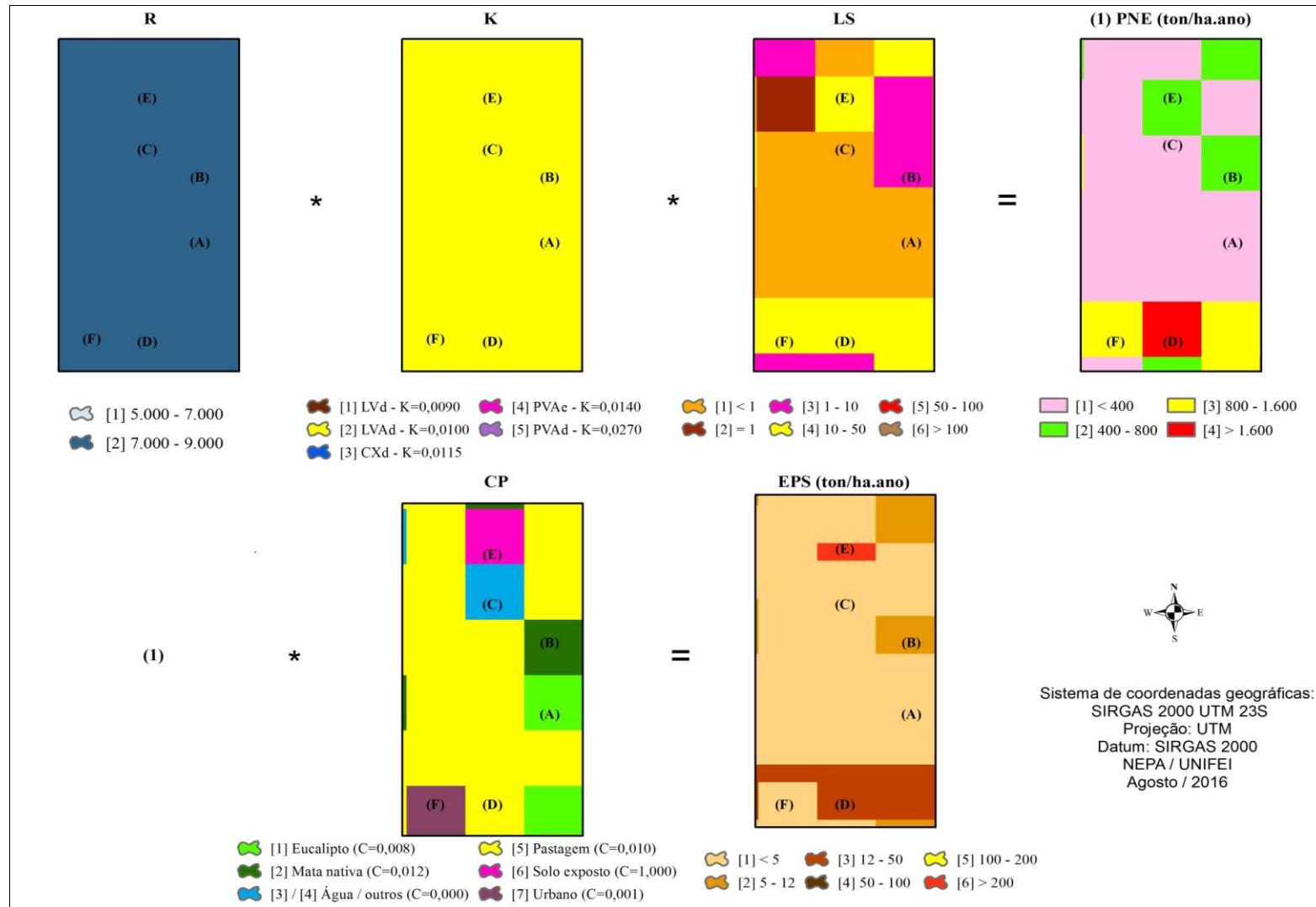


Figura 13 - Áreas ampliadas de cada mapa-síntese.

O pixel identificado pela letra [A] identifica revegetação por eucaliptos sobre Latossolo vermelho amarelo distrófico, em área de baixo valor do fator LS, indicando amenização frente aos processos erosivos, uma vez que nesse ponto o fator LS é menor que um fazendo com que a EPS seja baixa já que a presença dos eucaliptos também protege o solo. A letra [B] corresponde à mata nativa também sobre Latossolo vermelho amarelo distrófico em terreno levemente inclinado cujo fator LS exerce influência positiva na perda de solo. Nesse ponto, embora os valores para PNE apresentem-se altos, a mata nativa atenua os valores da EPS. O pixel [C] corresponde a água e outros elementos como nuvens, sombras e rochas, cujos valores nulos dos fatores LS e CP, conferem a esta classe neutralidade com relação aos processos erosivos. Entretanto, com relação ao ponto [D] referente às atividades agrícolas em áreas de fator LS médio, verificam-se valores moderados de EPS uma vez que esse tipo de vegetação reveste o solo, protegendo-o dos agentes naturais da erosão, principalmente, das chuvas. Entretanto, não evita sua compactação por pisoteamento animal, aumentando os riscos de erosão. O pixel identificado pela letra [E] refere-se ao solo exposto em locais de médio valor de LS, mas que apresentam PNE e EPS extremamente severos pelo fato dessas áreas não apresentarem cobertura vegetal. Finalmente, o pixel representado pela letra [F] que corresponde à classe urbano também em áreas de fator LS médio, na qual enquanto o PNE mostra-se elevado, a EPS apresenta-se reduzida justamente pela presença da área urbanizada que apresenta fator CP bem reduzido. Convém destacar que as grandes perdas de solo na área de estudo estão associadas às classes atividades agrícolas e solo exposto, este por não apresentar resistência alguma ao desenvolvimento da erosão e aquele por favorecer a excessiva compactação do solo.

Com bases nas informações desse mapa-síntese da EPS é possível determinar qual o tipo de uso e manejo do solo seria mais adequado na região, levando em consideração os níveis de periculosidade referente a cada classe da EPS, cabendo ou não práticas conservacionistas a fim de melhor planejamento e gestão dos recursos naturais principalmente dos mananciais existentes na região.

5.3. PNE

O PNE determinado a partir dos mapas-síntese da erosividade da chuva, da erodibilidade do solo e de uso e manejo do solo, representados pelos fatores R, K e LS, SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

respectivamente, considerando que não há interferência antrópica alguma na região considerada neste estudo. Contudo, as informações referentes ao PNE, segundo STEIN *et al.* (1987), devem ser consideradas apenas qualitativamente em termos de perda de solo pela erosão.

Na tabela 18 são apresentados os valores de PNE encontrados para a área de estudo. Segundo essa tabela e o mapa-síntese representado no apêndice XXIII (pág.161), elaborado com base na classificação proposta por SILVA & SANTOS *et al.* (2008) (tabela 8, pág. 63), verifica-se que na região de entorno a classe de maior proporção é a classe [1] (muito baixo) com 72,06%, estando esta classe mais concentrada principalmente em áreas de terrenos mais planos ou suavemente ondulado, principalmente nas margens dos rios. Em segundo lugar, concentrada principalmente em áreas mais onduladas, aparece a classe [2] (baixo) com 10,25% da área total. As duas classes com maior potencial de perda de solo, isto é, as classes [3] (moderado) e [4] (extremamente severo), aparecem com 8,36% e 8,83% da área de estudo, respectivamente, ocorrendo em áreas onde predomina relevo forte-ondulado a escarpado. Se considerada apenas a área abrangida pela APASM e APAFD, cujo mapa-síntese esta representado no apêndice XXIV (pág.162), 59,38% da área abrangida somente APA's pertencem à classe [1], seguida pela classe [4], com 18,04%, classe [3] com 11,91% e finalmente pela classe [2] com 10,67% da área mencionada. Percebe-se que a classe [4] apresentou uma forte concentração já que a APASM e a APAFD estão localizadas nas terras altas da Mantiqueira, locais que em função da declividade favorecem maiores perdas, embora se verifique a ocorrência de solos menos susceptíveis a erosão.

Tabela 18 – Valores de áreas da região de entorno, da APASM e da APAFD por classes do PNE.

PNE (ton/ha.ano)	%	ENTORNO (ha)	%	APA (ha)
[1] < 400 (muito baixo)	72,06	2.039.264,12	59,38	357.394,56
[2] 400 – 800 (baixo)	10,75	304.219,95	10,67	64.220,28
[3] 800 – 1600 (moderado)	8,36	236.584,07	11,91	71.683,55
[4] > 1600 (extremamente severo)	8,83	249.884,85	18,04	108.578,61
TOTAL	100	2.829.952,99	100	601.877,00

[1] muito baixo; [2] baixo; [3] moderado; [4] extremamente severo.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Portanto, nota-se que, em geral, as classes de PNE consideradas neste estudo coincidem a geomorfologia e o relevo da região como no caso da EPS, estando a maior parte da área relacionada às classes muito baixas ou baixas. No geral, as classes do PNE foram fortemente influenciadas pelo fator topográfico: em pontos de alta declividade, onde se verifica principalmente a presença do cambissolo háplico distrófico, o PNE resultante pertence às classes mais críticas de erosão e, em áreas com declividades mais suaves, na qual, em geral, verifica-se a ocorrência do latossolo vermelho distrófico, o PNE assume valores mais brandos. Entretanto, de todos os fatores considerados na determinação do PNE, os tipos de solo existentes na região são os que menos influenciam nos processos erosivos uma vez que grande parte da área de estudo apresenta solos mais resistentes à erosão.

Com relação à participação das chuvas, conforme já mencionado, sua sazonalidade interfere de maneira diferente ao longo do ano nos índices do PNE, na qual em períodos de chuvas mais frequentes, em função da topografia da região, seus efeitos acabam sendo agravados.

5.4. IMPORTÂNCIA DA RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS PARA A MANUTENÇÃO DA INTEGRIDADE DOS CORPOS D'ÁGUA

A região de estudo apresenta um contingente populacional expressivo, localizando-se em uma região estratégica do ponto de vista econômico-industrial, já que está próxima a uma das regiões mais desenvolvidas do país. Tamanha complexidade faz com que a região apresente muitos problemas envolvendo os recursos hídricos, principalmente os relativos às questões de alta demanda e baixa disponibilidade relativa. Atrelado a isso, verifica-se a urgente necessidade de recuperação das áreas acometidas pela erosão, uma vez que o excesso de sedimentos acaba por comprometer a qualidade dos mananciais, até porque muitas vezes as políticas ambientais e urbanas convergem para focos distintos, principalmente em áreas protegidas como são as APASM e APAFD.

De acordo com a tabela 19, apenas como indicativo, os rios monitorados

apresentam IQA¹ predominantemente médio para as bacias hidrográficas mineiras e fluminenses, estados que apresentam a mesma metodologia de avaliação, e bom para o caso do estado de São Paulo. Em seguida, aparece a classe boa tanto em Minas Gerais como no Rio de Janeiro e, a classificação regular em São Paulo. Por último, aparece a classificação ruim nos três estados. Cabe destacar que, mesmo em porcentagem bem reduzida, a classe muito ruim apareceu para os rios mineiros.

Tabela 19 – Porcentagem por classe de IQA das principais bacias hidrográficas nas quais se inserem as UGRHI presentes na área de estudo.

MINAS GERAIS						
BH	EXCELENTE	BOA	MÉDIO	RUIM	MUITO RUIM	TOTAL
Grande	-	23%	55%	21%	1%	100%
Piracicaba Jaquari	-	22%	58%	19%	1%	100%
Paraíba do Sul	-	28%	54%	15%	3%	100%
MÉDIA	-	24%	56%	18%	2%	100%
SÃO PAULO						
BH	ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM	PÉSSIMA	TOTAL
Mantiqueira	-	50%	50%	-	-	100%
Paraíba do Sul	19%	62%	15%	4%	-	100%
Pardo	-	66%	17%	17%	-	100%
PCJ	5%	47%	24%	22%	-	100%
Sapucaí / Grande	7%	86%	7%	-	-	100%
Mogi-Guaçu	-	83%	6%	11%	-	100%
MÉDIA	5%	66%	20%	9%	-	100%
RIO DE JANEIRO						
BH	EXCELENTE	BOA	MÉDIO	RUIM	MUITO RUIM	TOTAL
Paraíba do Sul	-	14,3%	78,6%	7,1%	-	100%

(Fonte: adaptado de IGAM, 2015; CETESB, 2015 e INEA, 2015).

Com base nessas informações, é possível constatar que a qualidade da água dos

¹ O IQA representa o índice de qualidade da água, sendo que para sua composição são utilizados nove parâmetros, oxigênio dissolvido, coliformes fecais (*Escherichia coli*), pH, DBO_{5,20}, temperatura da água, nitrato, fosfato total, turbidez e sólidos totais.

mananciais está sendo ameaçada pelo desenvolvimento extensivo de atividades econômicas, em especial na área de entorno das APA's, como: urbanização, agropecuária, áreas para geração de energia, construção de estradas, e outras, uma vez que juntamente com as partículas do solo, muitos poluentes decorrentes dessas atividades alcançam os corpos d'água. De modo geral, o IQA dos rios da área estudada está sendo fortemente influenciado pela falta de tratamento adequado dos efluentes domésticos e industriais (IGAM, 2015; CETESB, 2015; INEA, 2015).

Na tabela 20 são mostrados os índices de turbidez, em UNT, e o nível de sólidos em suspensão, em mg/l, de alguns rios presentes na área de estudo.

Tabela 20 – Valores de turbidez e de Sólidos totais de alguns rios inseridos na área de estudo no ano de 2015.

RIOS	UGRHI	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	TURBIDEZ (UNT)												SÓLIDOS DIS. TOTAIS (mg/L)											
				J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rio Airuoca	Alto Rio Grande	BG005	Andrelândia	45				7,7			5,25			44,7		99			40			38				87	
Mogi-Guaçu	Mogi-Guaçu	36300MG	Jacutinga	110				24,8			13,9			266		196			119			78				307	
Rio do Peixe	Mogi-Guaçu	103200SP	Socorro	686				33,6			15,4			259		572			84			52				309	
Rio do Peixe	Mogi-Guaçu	224800SP	Itapira	168				28,7			20,9			292		190			110			87				361	
Sapucaí Guaçu	Mantiqueira	229300SP	Campos do Jordão	23				15			20			64		95			96			70				90	
Sapucaí-Mirim	Mantiqueira	229700SP	São Bento do Sapucaí	28				39			23			318		< 50			65			66				276	
Paraíba do Sul	Paraíba do Sul RJ	PS0410	Resende	19				3,9			11			14,7		100			96			70				78	
Paraíba do Sul	Paraíba do Sul RJ	PS0421	Volta Redonda	39				9			7,1			74,4		101			86			78				85	
Paraíba do Sul	Paraíba do Sul SP	37900SP	São José dos Campos	20				31			19			62		85			200			< 50				154	
Paraíba do Sul	Paraíba do Sul SP	22300SP	Pte Piquete - Lorena	46				27			12			37		< 50			130			78				96	
Jaguari	PCJ	PJ001	Extrema	142				10,1			7,45			82,3		270			60			62				149	
Camanducaia	PCJ	PJ006	Camanducaia	104				22,2			12,6			18,7		246			104			104				106	
Mogi-Guaçu	Mogi-Guaçu e Pardo	BG077	Inconfidentes	112				12,7			7,4			23,4		200			108			54				119	
Jaguari-Mirim	Mogi-Guaçu e Pardo	BG098	Andradas	19				10,6			7,15			61,9		84			88			74				140	
Rio das Antas	Mogi-Guaçu e Pardo	BG083	Bueno Brandão	85,8				9,27			6,13			17,5		211			104			52				87	
Sapucaí	Sapucaí	BG039	Itajubá	66,7				4,46			3,51			27,6		158			90			48				89	
Rio do Cervo	Sapucaí	BG046	Congonhal	117				13,9			9,99			14,6		234			110			56				89	
Verde	Verde	BG025	Itanhandu	194				0,5			1,39			1,71		16			26			34				28	
Verde	Verde	BG032	Três Corações	19				6			7,64			47,9		70			46			81				132	
Rio Preto	Preto e Paraibuna	BS026	Passa Vinte	7,37				2,03			1,7			32,3		31			87			90				69	

(Fonte: adaptado de IGAM, 2015; CETESB, 2015 e INEA, 2015).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Com relação à turbidez que indica o nível de sólidos em suspensão decorrentes de despejos de efluentes domésticos e industriais, microrganismos e, em especial partículas procedentes de processos erosivos, e ao parâmetro sólido total que pode ser associado ao assoreamento dos corpos d'água, verifica-se que ambos os parâmetros variam muito ao longo do ano, apresentando valores mais acentuados nos períodos mais chuvosos, isto é, nos meses de outubro a março. Ainda segundo essa mesma tabela, de todos os rios considerados, os corpos hídricos inseridos na UGRHI Mogi-Guaçu, no estado de São Paulo, apresentam os maiores valores desses parâmetros, ultrapassando consideravelmente os limites impostos pela resolução CONAMA 357/2005 que é de 100 UNT no caso da turbidez e de 500 mg/L para os sólidos totais, principalmente o rio do Peixe, no município de Socorro, ficando claro também que este rio sofre com a sazonalidade das chuvas. Outra UGRHI que também apresentou grande variação desses parâmetros foi a PCJ, principalmente no rio Jaguari, em Extrema-MG.

Segundo MORI *et al.* (2015), a substituição das florestas ripárias por áreas de pastagens na região da bacia do rio Corumbataí provocou o aumento nas concentrações de sólidos em suspensão e turbidez da água, comprometendo a qualidade da água e a proteção dos ecossistemas aquáticos. Entretanto, cabe destacar que os valores apresentados pela turbidez e sólidos totais não traduzem a realidade da quantidade de solo que é transportado pelas águas para jusante da região onde é produzida, pois os índices de turbidez raramente possuem relação satisfatória com a concentração da fração fina de sedimentos e quase nunca com a fração grosseira ((CARVALHO, N. O., 1994), RILEY (1998) *in* SILVA *et. al.*, 2003).

A perda de qualidade da água envolve por sua vez em maiores custos no tratamento da água para saneamento e produção de energia; aumento da vulnerabilidade das populações em especial para saúde pública; perda de biodiversidade com consequências para pesca; baixa qualidade estética contemplativa e recreativa com consequências para o turismo (SCHOONOVER, LOCKABY E PAN, 2005; TUNDISI *et al.*, 2015). Além disso, tem-se que a população tenha que captar o recurso de locais cada vez mais longes. Essas constatações evidenciam a necessidade de investimentos em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes, ações para manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal, de educação ambiental e principalmente a revegetação de locais mais críticos.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

A recuperação das matas ciliares colabora com a conservação dos recursos naturais, entre eles, o manancial. A mata ciliar previne erosão e assoreamento, mantém a capacidade original de escoamento dos leitos, controla o aporte de nutrientes, de produtos químicos tóxicos e de outros sedimentos aos cursos de água, diminui a eutrofização, atua também na preservação da fauna e da flora e, por último, facilita a infiltração da água da chuva no solo (CAVALCANTE, 2013).

Considerando a demanda por água, as águas das bacias hidrográficas do rio Verde, Mogi-Guaçu, Piracicaba/Capivari/Jaguari, Sapucaí, Mogi-Guaçu/Pardo, Preto/Paraibuna, Alto Rio Grande e Paraíba do Sul abastecem a região de estudo, sendo que este último representa o principal fornecedor de água à população do Vale do Paraíba e da região fluminense pertencente à área de estudo, enquanto que o rio Jaguari assume o papel de principal contribuinte para o sistema Cantareira, manancial responsável pelo abastecimento da região metropolitana de São Paulo.

A tabela 21 apresenta a população absoluta presente na área de estudo por UGRHI. De acordo com essa tabela, as unidades de gestão dos recursos hídricos com os maiores números de habitantes, em ordem crescente, são Sapucaí, Paraíba do Sul RJ e Paraíba do Sul SP, respectivamente, regiões localizadas no eixo econômico mais desenvolvido do País.

Tabela 21 – População absoluta das UGRHI inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD.

UGRHI	POP. ABSOLUTA (2015)	%	UGRHI	POP. ABSOLUTA (2015)	%
Alto Rio Grande	80.593	1,80	Mogi-Guaçu e Pardo	178.812	4,00
Mogi-Guaçu	98.765	2,21	Sapucaí	593.468	13,29
Mantiqueira	68.483	1,53	Verde	318.531	7,13
Paraíba do Sul RJ	870.289	19,49	Preto e Paraibuna	25.919	0,58
Paraíba do Sul SP	1.761.155	39,44			
PCJ	469.278	10,51	TOTAL	4.465.293	100

(Fonte: Adaptado de IBGE, 2015).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Segundo TOLEDO SILVA (2014) o cenário crítico vivenciado hoje em dia em termos de demanda por água é resultado do crescimento desordenado das cidades, uma vez que o desmatamento, a impermeabilização do solo, a ocupação de zonas ribeirinhas, entre outros, favoreceu o desenvolvimento de fenômenos climáticos anormais como é o caso das ilhas de calor, afetando diretamente a precipitação de chuvas. Aliado a isso, se junta à inexistência de uma política pública que regulamenta principalmente o uso e ocupação do solo nessas áreas.

Levando em consideração os dados por municípios inseridos em cada UGRHI, a tabela 22, mostra os municípios mais representativos em termo de população absoluta residente.

Tabela 22 - Municípios com maior número de habitantes em cada UGRHI inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD – 2015.

UGRHI	MUNICÍPIO	POP. (2015)
Alto Rio Grande	Cruzília	15.369
Mogi-Guaçu	Itapira	72.967
Mantiqueira	Campos do Jordão	50.852
Paraíba do Sul RJ	Volta Redonda	262.970
Paraíba do Sul SP	São José dos Campos	688.597
PCJ	Bragança Paulista	160.665
Mogi-Guaçu e Pardo	Andradas	40.092
Sapucaí	Pouso Alegre	143.846
Verde	Três Corações	77.921
Preto e Paraibuna	Santa Rita do Jacutinga	5.065

(Fonte: Adaptado de IBGE, 2015).

Por se tratar de uma região no qual mesmo havendo municípios de pequeno porte, a demanda por água é bastante elevada em função da grande concentração populacional e do dinamismo de sua economia. Na tabela 23 apresentam-se os valores de consumo diário de água por UGRHI com base no consumo médio de água por habitante, não considerando o uso agropecuário. As unidades Alto Rio Grande, Mantiqueira, Mogi-Guaçu, Rio Preto e Paraibuna têm os menores níveis de consumo, enquanto que as unidades Paraíba do Sul (SP/RJ), Sapucaí, PCJ, Verde, Mogi-Guaçu e Pardo tem os maiores consumos registrados.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Tabela 23 – Consumo médio de água por UGRHI inseridas na inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD – 2015 não considerando o uso agropecuário.

UGRHI	MÉDIA DE CONSUMO POR HABITANTE (L/hab/dia)	POP. (2015)	CONSUMO DE ÁGUA (m ³ /ano)
Alto Rio Grande	779	80.593	2.301.123,16
Mogi-Guaçu	1.103	98.765	39.762.295,18
Mantiqueira	907	68.483	22.671.639,57
Paraíba do Sul RJ	1.783	870.289	566.379.729,8
Paraíba do Sul SP	1.198	1.761.155	770.100.246,9
PCJ	1.093	469.278	187.216.111,7
Mogi-Guaçu e Pardo	1.062	178.812	69.312.895,56
Sapucaí	776	593.468	168.093.876,3
Verde	1.096	318.531	127.425.141,2
Preto e Paraibuna	460	25.919	4.351.800,1
TOTAL	-	4.465.293	1.957.614.859,43

(Fonte: MCID, 2015).

Sendo assim, percebe-se que as regiões com os maiores contingentes populacionais e de maior dinamismo econômico são regiões que, além de impor grandes cotas de consumo de água para suprirem suas necessidades, apresentam níveis de erosão em todas as classes. Levando-se em consideração que nem sempre o volume de água que se retira é proporcional à capacidade de produção dos mananciais, a última crise hídrica que atingiu a região no período de 2014/2015 não deixa dúvidas que essa equação está desproporcional. A área de entorno das áreas protegidas consideradas nesse estudo está impondo um ritmo acelerado de consumo, quase próximo aos 100% em muitas UGRHI, principalmente a região do Sul de Minas e Vale do Paraíba tanto do lado paulista como do lado fluminense, locais que como anteriormente mostrado apresentam as maiores populações absolutas e as maiores demandas.

Além da demanda por consumo, existe também a demanda para a geração de eletricidade. Conforme levantamento realizado junto ao site do MME, na área de estudo encontram-se 40 hidrelétricas, 1 usina hidrelétrica – UHE localizada no município de Itatiaia, Rio de Janeiro, 25 centrais geradoras hidrelétricas – CH's e 14 pequenas centrais hidrelétricas – PCH's, totalizando 333.395 kW de potência instalada. Na tabela

24 é indicada a potência total instalada por UGRHI inseridas na área de estudo:

Tabela 24 – Potência total instalada por UGRHI inseridas na região de entorno, na APASM e na APAFD.

UGRHI	POT. (kW)
Alto Grande	6.356
Mogi-Guaçu	33.905
Mantiqueira	380,18
Paraíba do Sul RJ	218.380
Paraíba do Sul SP	62.800
PCJ	-
Mogi-Guaçu e Pardo	3.720
Sapucaí	25.138
Verde	8.132
Preto e Paraibuna	7.869

(Fonte: adaptado de MME, 2015).

A instalação de usinas geradoras de energia gera diversos impactos na região de instalação, entretanto ela também sofre diversas consequências, principalmente, às advindas com a erosão. De maneira geral, o excesso de sedimentos nos reservatórios, provoca a redução da qualidade da sua água, acomete as represas com o assoreamento reduzindo drasticamente a geração de energia.

Com o intuito de melhor planejar e gerenciar os recursos hídricos dentro do universo da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/1997) são listados seis instrumentos para manejo de bacias: plano de recursos hídricos; enquadramento dos corpos d'água; outorga do direito de uso dos recursos hídricos; cobrança pelo uso dos recursos hídricos; sistema de informações sobre recursos hídricos; e compensação a municípios. Os principais instrumentos da PNRH implementados (ou não) nas UGRHI inseridos na área de estudo estão apresentados na tabela 25.

Tabela 25- Implementação dos instrumentos da PNRH por UGRHI inseridas na região de entorno, da APASM e da APAFD.

UGRHI	SITUAÇÃO					
	Plano de Bacia	Enquadramento dos corpos d'água	Outorga	Cobrança pelo uso d'água	SI ⁽¹⁾	Relação
Sapucaí	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	2/5
PCJ	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	5/5
Paraíba do Sul	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	4/5
Mogi-Guaçu	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	3/5
Alto Grande	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	1/5
Verde	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	3/5
Mantiqueira	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	3/5
Preto e Paraibuna	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	3/5
Mogi-Guaçu e Pardo	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	2/5

(Fonte: adaptado de MME, 2015).

(1) Sistema de informação sobre recursos hídricos.

Com relação às atividades do campo, estas quando executadas inapropriadamente, principalmente no que diz respeito à remoção da cobertura vegetal e ao pisoteio do gado, provocam compactação e empobrecimento do solo, favorecendo o desenvolvimento da erosão e maior aporte de partículas de solos removidos para os corpos hídricos (AUGUSTUS, 2012). A agropecuária é uma das atividades mais negativamente impactantes, interagindo diretamente com o meio ambiente, sendo a maior contribuinte da poluição difusa, por ocupar grandes áreas e afetar a qualidade da água com o aporte de nutrientes (SANTANA, 2003; ORTEGA E CARVALHO, 2013).

Segundo UDAWATTA; GERRETT; KALLENBACH (2010) a vegetação ripária funciona como uma "zona tampão" impedindo que sedimentos e poluentes atinja os corpos d'água, pois há uma grande concentração de espécies vegetais nativas com função de melhorar a qualidade da água dos rios, córregos e lagos atuando na proteção física das margens (RODRIGUES; FILHO, 2014).

Como nos trechos do rio Sapucaí, mostrado na figura 12 (a, b, c, d), existem muitos outros sem nenhuma ou com pouquíssima vegetação ripária, ilustrando o modo como suas margens são exploradas pela intensa atividade da pecuária, mostrando mais uma vez o quanto essas áreas são vulneráveis, existindo inclusive vários bancos de sedimentos no leito de muitos rios da área de estudo.

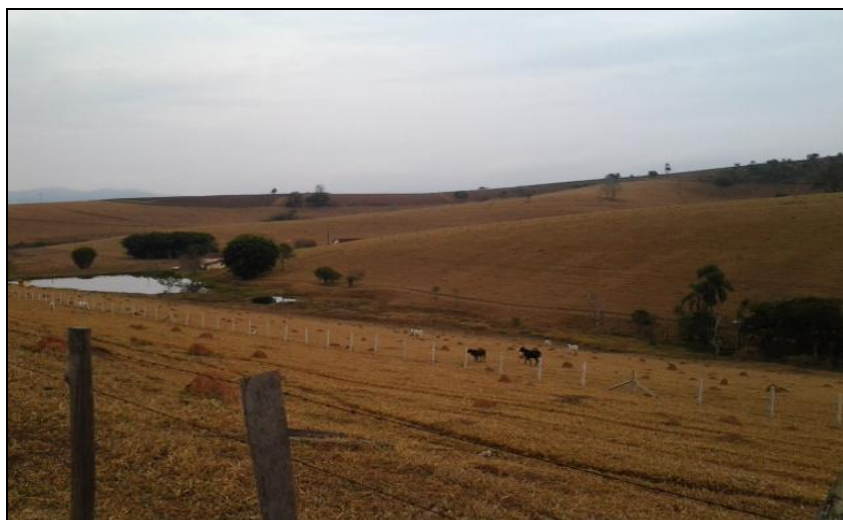
SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.



(a) 7511035 O - 458880 S (agosto/2016)



(b) 7514256 O - 458476 S (agosto/2016)

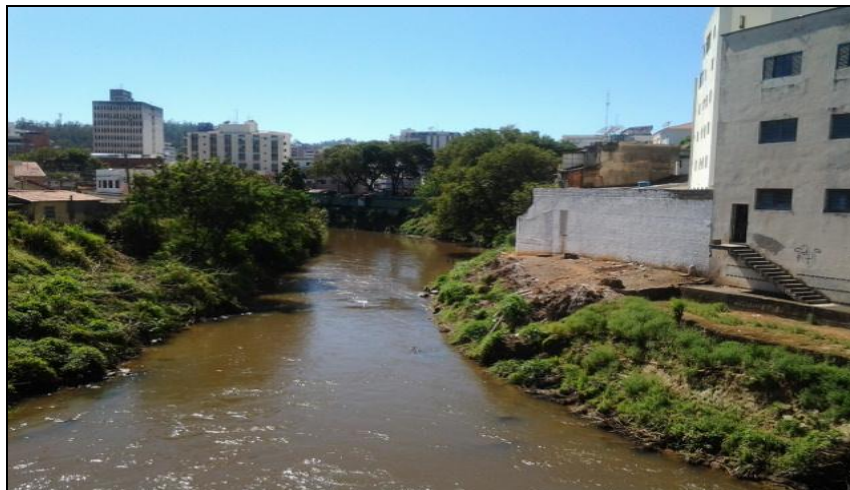


(c) 7530425 O - 438912 S (agosto/2016)

Figura 14 – Detalhe de áreas utilizadas pela pecuária na área de estudo (Fonte: SILVA, H.J., 2016).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

A figura 13(a,b) mostra um trecho da malha urbana da cidade de Itajubá – MG, desenvolvida as margens do rio Sapucaí, a exemplo de muitas outras cidades da área de estudo:



(a) 7519805 O - 453319 S (agosto/2016)



(b) 75120015 O - 453319 S (agosto/2016)

Figura 15 - Rio Sapucaí cortando o município de Itajubá MG (fonte: SILVA, H.J., 2016).

Conforme SILVA & NOBREGA (2007), as áreas urbanizadas promovem transformações intensas na dinâmica do rio pertencente à bacia hidrográfica, uma vez que muitas construções habitacionais são feitas nas margens dos rios e lagos, provocando desmatamento e poluição por esgoto doméstico (WWFBRASIL, 2012), desencadeando frequentemente processos erosivos graves. Segundo ROBAIANA *et al.* SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

(2001), a implantação da malha urbana de muitas cidades via supressão da mata ciliar aumenta o transporte e sedimentação das partículas do solo, afetando inclusive a frequência de enchentes.

Os rios urbanos que recebem as descargas de água, normalmente, não têm grandes dimensões e é possível observar uma mudança morfológica, como impactos sobre os indivíduos da fauna e da flora, além da perda da geodiversidade local (SILVA; RODRIGUES, 2010). Muitas vezes a omissão na fiscalização dessas áreas por parte principalmente dos órgãos ambientais locais, muito mais do que danos à qualidade da água, pode colocar em risco a própria vida da população alocada nessas regiões.

Tomando por base todas as informações levantadas referentes à questão da erosão e as relacionadas aos mananciais propriamente ditas, elas foram reunidas em uma matriz considerando dois agrupamentos. O primeiro, apresentado pela tabela 26, refere-se a elementos com capacidade de alterar dos recursos hídricos (aspectos negativos) tendo a seguinte classificação: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. De acordo com essa tabela, as UPGRH que apresentam as situações mais críticas são Paraíba do Sul RJ, Paraíba do Sul SP e Sapucaí, principalmente no que diz respeito à ocupação urbana e a presença de áreas com atividades agrícolas.

Tabela 26 - Capacidade de alteração dos recursos hídricos.

UGRHI	1	2	3	4	5
Alto Rio Grande					
Mogi-Guaçu					
Mantiqueira					
Paraíba do Sul RJ					
Paraíba do Sul SP					
PCJ					
Mogi-Guaçu e Pardo					
Sapucaí					
Verde					
Preto e Paraibuna					

(Fonte: adaptado de IGAM, 2015; CETESB, 2015 e INEA, 2015).

1 – ocupação urbana; 2 – produção de energia; 3 – demanda de água; 4 – áreas agrícolas; 5 – erosão.

MUITO BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
-------------	-------	-------	------	------------

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Com relação ao segundo grupo, apresentado na tabela 27, aspectos que tem por finalidade interferir na conservação e recuperação dos recursos hídricos (aspectos positivos) são abordados, tendo as seguintes classes de análise de situação: ótima, boa, regular, ruim e péssima. Por meio dela, é possível inferir que, em praticamente todas as UGRHI, as medidas que visam aumentar a quantidade e a qualidade da água apresentam-se deficitárias principalmente os referentes à cobertura vegetal natural e aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

Tabela 27 – Conservação / recuperação dos recursos hídricos.

UGRHI	1	2	3
Alto Rio Grande			
Mogi-Guaçu			
Mantiqueira			
Paraíba do Sul RJ			
Paraíba do Sul SP			
PCJ			
Mogi-Guaçu e Pardo			
Sapucaí			
Verde			
Preto e Paraibuna			

(Fonte: adaptado de IGAM, 2015; CETESB, 2015 e INEA, 2015).

1 – cobertura vegetal; 2 – IQA; 3 – instrumentos da PNRH.

ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM	MUITO RUIM
-------	-----	---------	------	------------

Convém destacar que a APASM e APAFD surgiram, principalmente, pela necessidade de contenção da expansão desenfreada de áreas urbanas, da agropecuária, da exploração madeireira e outras atividades antrópicas, sendo essas áreas essenciais para produção de água, bem como prover serviços ambientais importantes para a manutenção da qualidade de vida e proteção da biodiversidade.

Nesse contexto, fica claro que o desenvolvimento econômico tem relação direta com o uso e ocupação do solo e, conseqüentemente com a gestão dos recursos hídricos. É evidente que dentre todos os tipos de classe de uso considerados, a cobertura vegetal, em especial a nativa, é fundamental para manutenção do ciclo hidrológico e que a supressão desta expõe as camadas de solo desencadeando processos erosivos e perda da camada mais nutritiva deste através da lixiviação. As matas ciliares, ou zona ripária,

assim como a cobertura vegetativa são muito importantes na proteção dos mananciais, pois controlam e amenizam parcialmente, a chegada de nutrientes, fertilizantes, agrotóxicos, sedimentos e a erosão proveniente das terras adjacentes contribuindo para a manutenção da qualidade e quantidade de água, influenciando ainda suas características físicas, químicas e biológicas, já que podem interceptar a radiação solar.

Outro fato que merece ser destacado é que a implantação da grande malha viária na área de estudo, principalmente as que cortam as APA's, permitiu o uso e ocupação do solo de maneira desordenada, principalmente de regiões próximas a mananciais ou nascentes, implicando em maiores consumos dos recursos naturais, principalmente de água, cujo uso excessivo em função da expansão das cidades com estímulos a loteamentos e especulação imobiliária, indústria e agricultura, bem como o lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio, representam um dos principais problemas referentes à questão da qualidade da água na área de estudo. SCHOONOVER, PAN & LOCKABY (2005) aludem que a qualidade dos rios aumenta quando há cobertura ripária em pelo menos 50% a 75% do comprimento dos canais ou quando cobre extensas áreas úmidas.

Conforme mencionado anteriormente, a área de estudo compreende 132 municípios, sendo que 33 deles localizam-se dentro da APASM e da APAFD. Embora sejam necessárias para o desenvolvimento socioeconômico e para a melhoria da qualidade de vida da população, como qualquer empreendimento, as rodovias geram diversos impactos ao meio ambiente. Conforme DNER (2005), quando mal executadas, principalmente no que se refere ao desmatamento para sua implantação e às suas obras de drenagem, verifica-se o surgimento e desenvolvimento de erosão do solo e taludes, assoreamento dos sistemas de drenagem. Soma-se a isso também a perda de um importante aliado na contenção de perdas de solo: a vegetação, uma vez que esta tem como atributo reduzir a velocidade e o volume de água do escoamento superficial. A figura 14 apresenta todos os municípios abrangidos pela área de estudo, bem como a região das APA's, os estados envolvidos e a malha rodoviária que corta toda a região, entre rodovias estaduais representadas pelas MG, SP e RJ e rodovias federais, com destaque para a BR-116 / via Dutra, principal eixo de ligação entre Rio de Janeiro e São Paulo, na região de entorno das APA's, e a BR-381 / autopista Fernão Dias que corta a APAFD, sendo a principal via de ligação entre a capital mineira e a paulista.

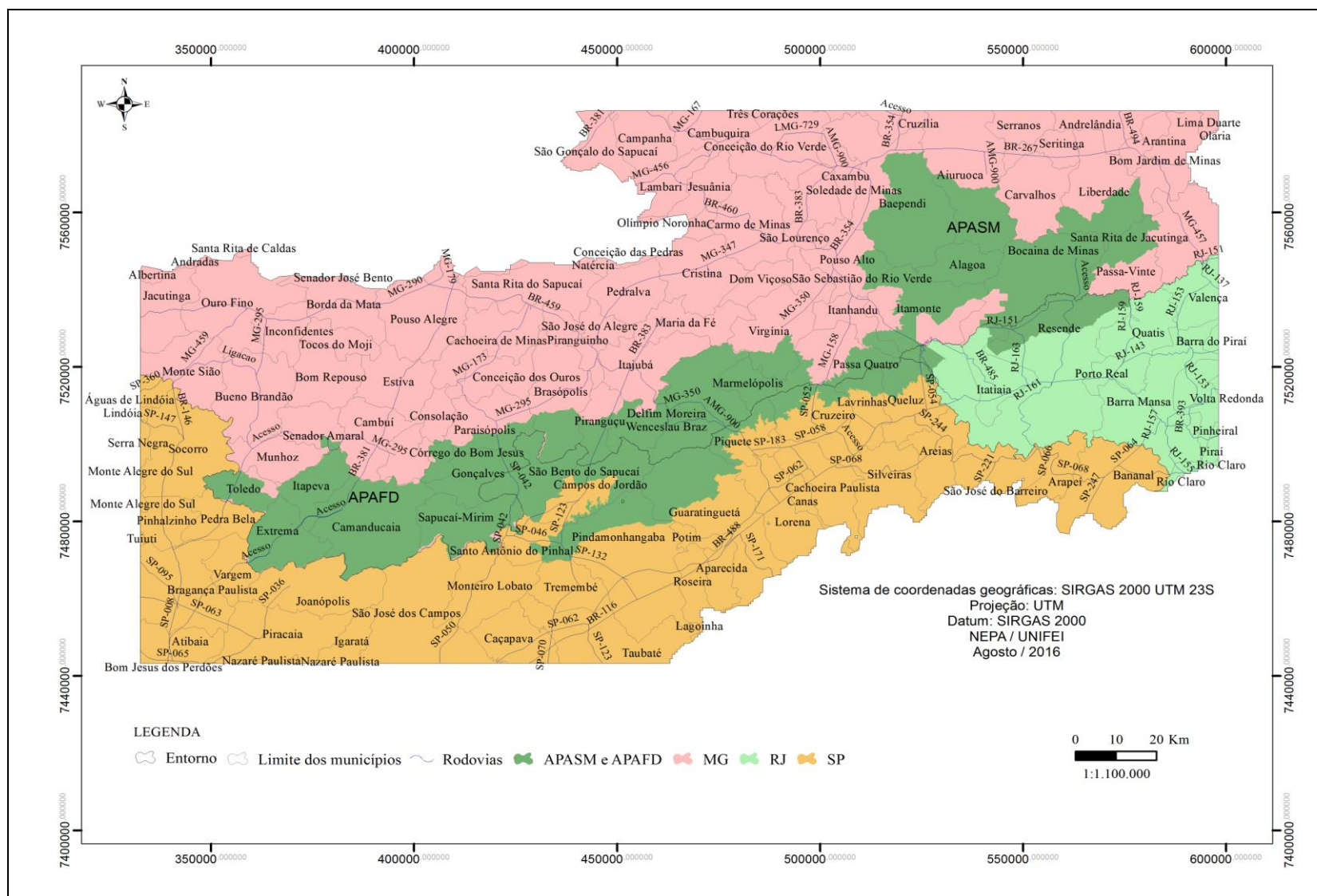


Figura 16 – Municípios inseridos na área de estudo.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Nota-se também a presença de inúmeras estradas vicinais, característica em toda a região estudada, uma vez que, mesmo havendo cidades de grande porte englobadas na área de estudo, a maior parte dos municípios é considerada de pequeno a médio porte. Embora apresentem grande importância tanto econômica quanto social, grande parte destas estradas foram implantadas sem planejamento adequado dos sistemas de drenagem. Consequentemente, graves problemas de ordem ambiental, social e econômico são causados na região, tais como: erosões, assoreamento de rios, desabamentos e interrupções no curso. Na figura 17 é comprovada a informação anteriormente citada, sendo esta situação frequente nas diversas estradas vicinais existentes na área de estudo.



Figura 17 – Típica estrada rural encontrada na área de estudo (Fonte: P.M. DE LORENA, 2014).

Cerca de 70% dos processos erosivos das áreas rurais se devem às estradas rurais não-pavimentadas, uma vez que há grande omissão com relação à manutenção e implantação de estruturas responsáveis pela drenagem (bacias de captação, canais de derivação e terraços). Na adequação de estradas vicinais deve haver manejo integrado do solo e da água, isto porque, a inexistência de passagens contribui para agravar problemas de erosão. A adequação das estradas e carregadores propiciaria melhor controle do processo erosivo, garantia de boa trafegabilidade mesmo em períodos de chuva, e menor custo de manutenção, gerando significativa economia para o município e para o produtor rural, além de contribuir com a minimização de impactos sobre o recurso hídrico (ZOCCAL, 2007; BRAGAGNOLO & PAN, 1997).

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Com relação à população da área de entorno, seu crescimento ocorreu de maneira significativa nos últimos 30 anos, acompanhando a tendência brasileira de crescimento populacional. Na figura 16 é apresentado o crescimento da população do entorno das APA's para os períodos de 1985, 1995, 2005 e 2015, segundo as estimativas populacionais realizadas pelo IBGE.

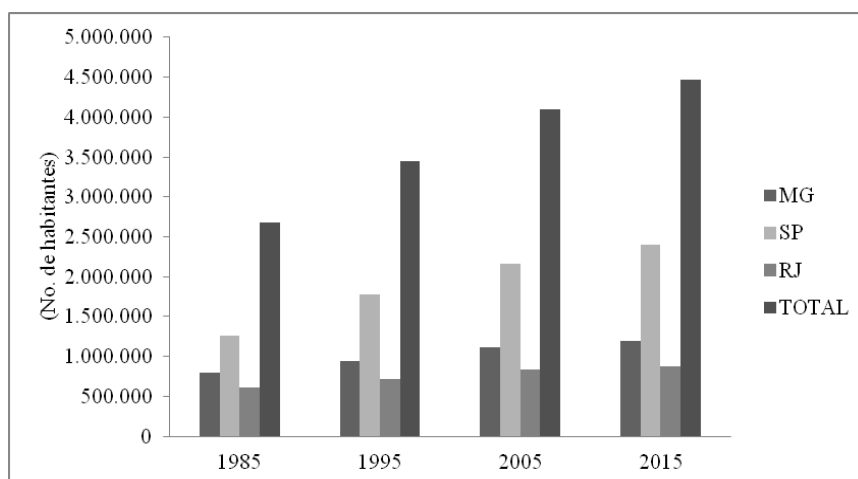


Figura 18 – Evolução da população da área de entorno das APA's
(Fonte: Adaptado de IBGE, 2015).

Na tabela 28 é apresentada a evolução da população na área de entorno.

Tabela 28 - Evolução, em termos percentuais, da população da área de entorno.

	1985	1995		2005		2015	
MG	794.329	947.311	19%	1.108.884	17%	1.199.066	8%
SP	1.263.170	1.780.422	41%	2.154.165	21%	2.395.938	11%
RJ	617.502	717.594	16%	833.806	16%	870.289	4%
TOTAL	2.675.001	3.445.327	29%	4.096.855	19%	4.465.293	9%

(Fonte: Adaptado de IBGE, 2015).

Nota-se que no lado mineiro apresentou as seguintes taxas de crescimento: 19% em 1995, 17% em 2005 e 8% em 2015. O lado paulista teve o seguinte incremento: 41%, 21% e 11% para os anos de 1995, 2005 e 2015, respectivamente. Com relação ao lado fluminense, observou-se que os percentuais de crescimento foram 16% em 1995, 16% em 2005 e 4% em 2015. No geral, o crescimento populacional da região do entorno em 2015 em relação a 1985 foi de cerca de 40%.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Apesar do baixo crescimento populacional, o estado do Rio de Janeiro promoveu a abertura/pavimentação de estradas no entrono das APA's, como é o caso da estrada-parque RJ-163 e da RJ-151, ambas financiadas pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Programa Nacional de Desenvolvimento do Turismo (Prodetur) (IOERJ, 2015), estimulando o acesso e a especulação imobiliária como fatores indutores de impactos ambientais negativos sobre a vegetação e a biodiversidade.

Na figura 19 é apresentado o crescimento da população da APASM e APAFD para os períodos de 1985, 1995, 2005 e 2015, segundo as estimativas populacionais realizadas pelo IBGE.

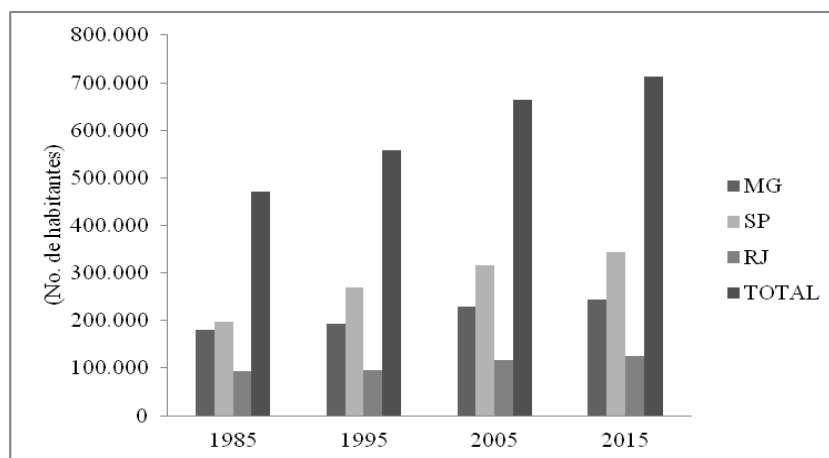


Figura 19 - Crescimento populacional da APASM e APAFD
(Fonte: Adaptado de IBGE, 2015).

Na tabela 29 é apresentada a evolução da população na área da APASM e APAFD.

Tabela 29 - Evolução, em termos percentuais, da população da APASM e APAFD.

	1985	1995	2005	2015
MG	181.027	193.337 7%	229.044 18%	244.211 7%
SP	197.727	269.072 36%	316.930 18%	343.954 9%
RJ	92.683	96.596 4%	117.416 22%	125.214 7%
TOTAL	471.437	559.005 19%	663.390 19%	713.379 8%

(Fonte: Adaptado de IBGE, 2015).

Verifica-se que até metade da década de 1980 a população existente dentro da

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

APASM e APAFD no lado mineiro e no lado paulista era praticamente as mesmas. Entretanto, nas décadas seguintes nota-se que há uma evidente diferença entre as populações desses estados, ou seja, enquanto o lado mineiro apresentou taxas de crescimento de 7% em 1995, 18% em 2005 e 7% em 2015, o lado paulista teve o seguinte incremento: 36%, 18% e 9% nos anos de 1995, 2005 e 2015, respectivamente. Com relação ao lado fluminense, observa-se um crescimento mais suave, com taxas de crescimento de 4% em 1995, 22% em 2005 e 7% em 2015. No total, o crescimento populacional verificado somente na região das APA's em 2015 em relação a 1985 foi ao redor de 34%.

Em se tratando do uso e ocupação do solo por estado, como apresentado na tabela 30, os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro ocupam 57,80%, 32,87% e 9,33% da área de estudo total, respectivamente. Nesta mesma ordem, a população total residente na área de estudo total, em termos percentuais, são 25,80%, 53,65% e 20,55%.

Tabela 30 – Proporção da área e da população residente na área total (entorno, APASM e APAFD) por estado.

ESTADO	(%)	POPULAÇÃO (%)
MG	57,80	25,80
SP	32,87	53,65
RJ	9,33	20,55
TOTAL	100	100

Na figura 20 são apresentados os gráficos referentes à distribuição percentual do uso e ocupação do solo por estado inserido na área de estudo.

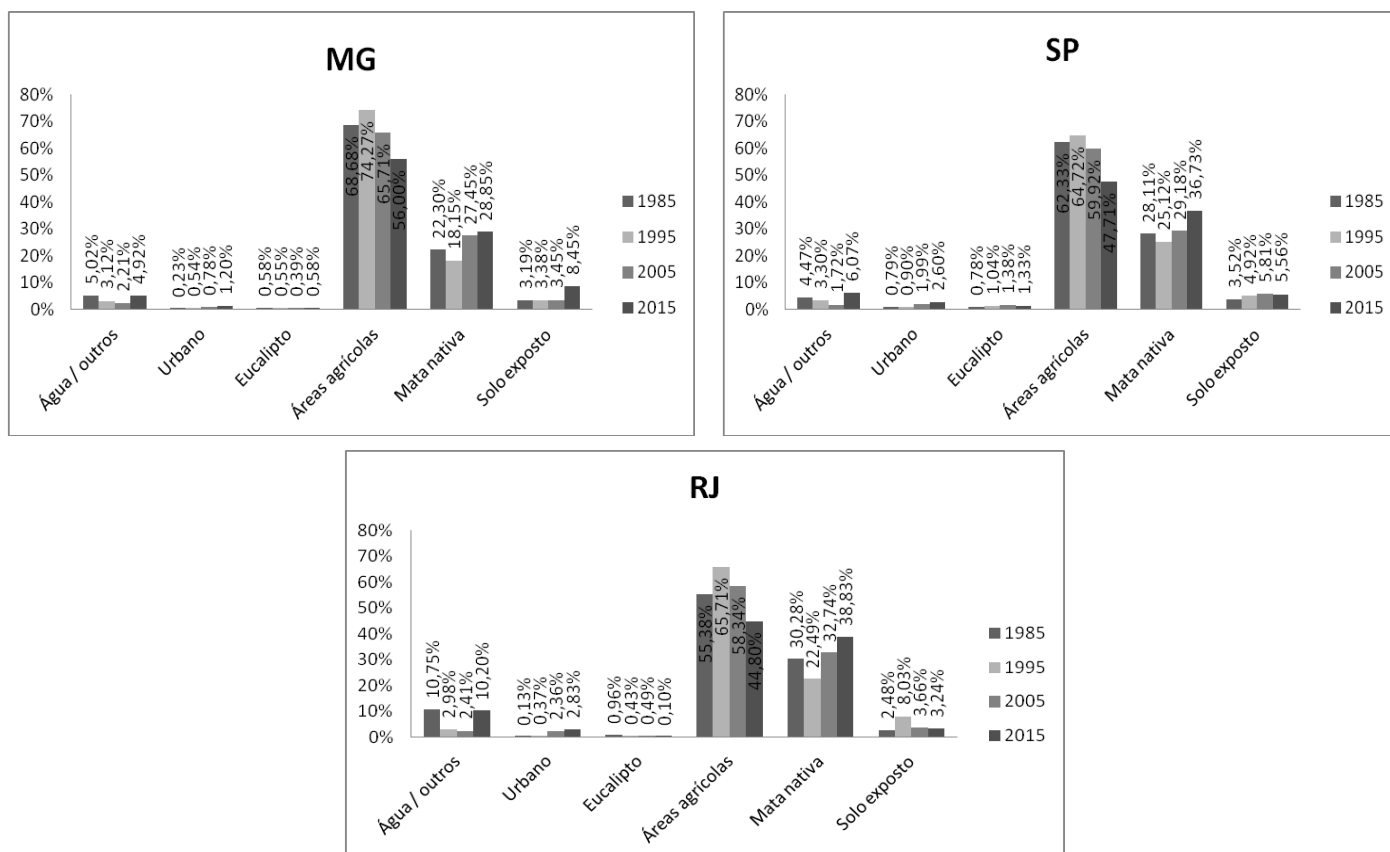


Figura 20 – Uso e ocupação do solo por estado inserido na área de estudo.

Para o estado de Minas Gerais verifica-se que a degradação ambiental devido ao inadequado uso e ocupação do solo, representada principalmente pelas atividades agrícolas, embora tenha apresentado valores decrescentes ao longo do período considerado, ele ainda é responsável pela maior parcela de ocupação da área. Além disso, a implantação de reflorestamento com eucaliptos vem crescendo, assim como as áreas urbanas e solos expostos, afetando consideravelmente muitas microbacias existentes nessa área, principalmente pelo fato dessas formas de manejo aumentar o risco de erosão e, conseqüentemente, o assoreamento e os índices de turbidez e sólidos dissolvidos totais dos corpos hídricos locais, com graves conseqüências para a qualidade e quantidade de água.

Vale apontar que nessa região aparecem muitas nascentes de importantes rios que abastecem as regiões mais povoadas do Brasil. Entretanto, mesmo a passos mais lentos, verifica-se que a mata nativa está sofrendo um processo de regeneração, o que implicará no futuro em melhoria das condições ambientais dessa região, principalmente em se tratando dos recursos hídricos, desde que as práticas acima mencionadas sejam

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

reordenadas, respeitando as potencialidades locais.

Com relação à parcela do estado de São Paulo inserida na área de estudo que apesar de apresentar uma área inferior a Minas Gerais, ele possui mais da metade da população da área de estudo vivendo em apenas 32,87%. Verifica-se também a predominância da classe temática atividades agrícolas. Mesmo verificando-se um processo de recuperação da mata nativa em detrenimento das atividades agrícolas, as classes urbano, eucalipto e solo exposto tiveram aumento em seu percentual de ocupação. Evidencia-se que estas práticas quando mal conduzidas implicam no empobrecimento da região, favorecendo a degradação não somente do solo, mas também desse ambiente, aumentando a vulnerabilidade da região aos processos erosivos.

Por fim, o uso e ocupação do solo na região do estado do Rio de Janeiro como nos estados anteriormente apresentados, exibe forte presença das pastagens. As atividades antrópicas desenvolvidas nessa área, pautadas na supressão das matas nativas, seja para a implantação de estradas, seja para o crescimento das cidades ou cultura do eucalipto, evoluíram nos anos considerados, porém a porcentagem dos solos expostos diminuiu. Embora a região do estado do Rio de Janeiro inserida na área de estudo seja bem inferior a de Minas Gerais, a população atualmente residente nesse estado é quase a mesma que a residente naquele.

Essa desproporção é norteadora de grandes impactos na área de estudo. O aumento das áreas urbanas, a forte presença de áreas de atividades agrícolas e a diminuição das áreas de mata nativa nas áreas de entorno, principalmente, têm causado reflexos negativos nos índices de qualidade do meio ambiente na região de estudo, afetando inclusive as áreas protegidas nela inserida. Estas áreas constituem regiões de grande fragilidade, na qual a ineficiência de sua gestão tanto do ponto de vista ambiental quanto do ponto de vista do uso e ocupação está transformando de maneira sem precedentes a realidade dessa região, com destaque para as bacias hidrográficas, cujas intervenções crescentes e suas consequências comprometem a disponibilidade de água, ultrapassando inclusive as demandas locais.

Portanto, em se tratando de áreas de grande importância regional e nacional, a região da APASM e da APAFD, e principalmente a região de entorno, deveriam ser mais bem assistidas por programas que focassem em um ordenamento territorial

condizentes com a vocação dessa região, permitindo um desenvolvimento econômico e social com bases ambientais, garantindo a manutenção dos diversos serviços ambientais que esses locais fornecem à sociedade com um todo.

Na figura 21 são apresentados os gráficos referentes à distribuição percentual da EPS por estado inserido na área de estudo.

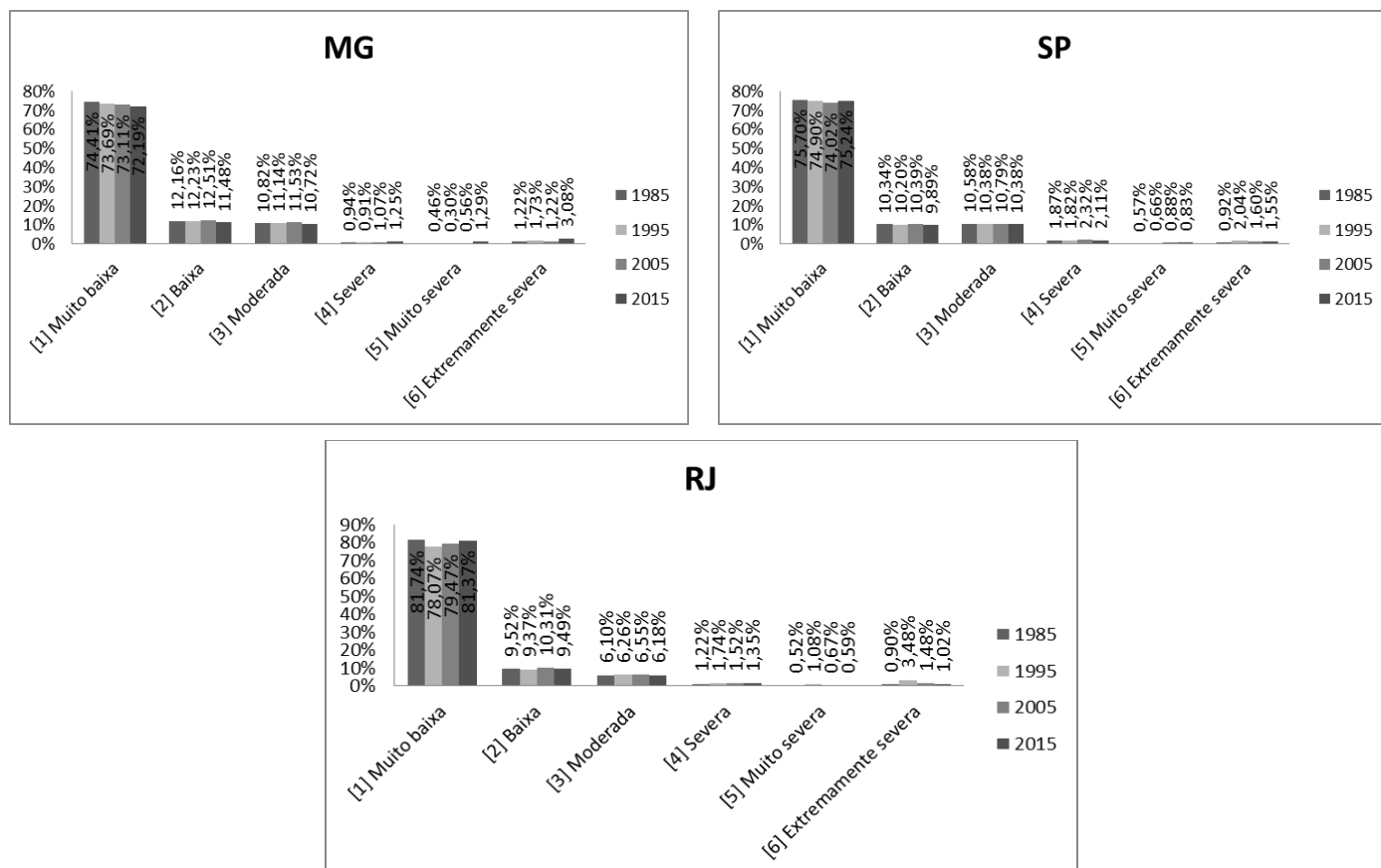


Figura 21 – Distribuição percentual da EPS por estado inserido na área de estudo.

Com relação à distribuição espacial da EPS no estado de Minas Gerais verifica-se a predominância das classes [1] Muito baixa e [2] Baixa, refletindo que a EPS está dentro dos limites considerados normais, porém isso não pode negligenciar a evolução das demais classes apresentadas, vinculadas em especial a evolução temporal das categorias de uso e ocupação do solo, tais como solo exposto, eucalipto e urbano, além das pastagens. O maior destaque para estes casos é a evolução da classe [6] Extremamente severa, apresentando formas de erosão do solo mais agressivas e desenvolvidas, como por exemplo, as voçorocas. Mesmo em pequena proporção, esta

classe quando comparada com a classe muito baixa, apresentou evolução ao longo do período considerado, evidenciando a exploração inadequada do solo.

Para o caso do estado de São Paulo, fica claro que as várias transformações impostas pelo manejo inadequado na qual as áreas verdes foram substituídas por outras formas de uso com intensa impermeabilização do solo intensificaram os processos erosivos, que mesmo havendo predominância de classes mais amenas, verifica-se a presença de classes mais intensas de erosão. Por fim, na área do estado do Rio de Janeiro inserida na área de estudo o desmatamento de grande parte da região reflete as taxas erosivas que como os demais estados apresenta predominância das classes [1] Muito baixa e [2] Baixa.

Deste modo, a melhoria das condições ambientais visando conter os processos erosivos e aumentar a oferta de água de qualidade inicia-se com a definição de instrumentos de recuperação desses locais, principalmente com incentivos a recuperação da mata nativa através do reflorestamento. Entretanto, os desafios para a recuperação das áreas de mananciais vão além da instituição dos marcos legais. Dependem de estratégias de intervenção inovadoras que envolvem a sociedade civil e que podem sinalizar uma real transformação da realidade das bacias hidrográficas protegidas (ALVIM, KATO & JEANE, 2015).

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal estimar a evolução da perda de solo através da EUPS, nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, na APASM e na APAFD, bem como na região de amortecimento, a fim de subsidiar estudos integrados que tenham por finalidade a analisar a interferência da EPS em mananciais urbanos auxiliando projetos que visem à geração de energia e planejamento territorial de áreas protegidas, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Para isso, integraram-se os fatores da EUPS: erosividade da chuva, erodibilidade dos solos, topografia e cobertura do solo. Sendo assim, considera-se atingido o objetivo geral do trabalho.

Ao longo dos anos considerados neste estudo, a EPS diminuiu as taxas de perdas de sedimentos: 15.264,5 ton/ha.ano, 13.655,5 ton/ha.ano, 11.733,2 ton/ha.ano e 9.418,3 ton/ha.ano de sedimentos foram carregados para os rios, nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente. Quando considerada somente a região das APA's, foram determinados que 3.205,5 ton/ha.ano, 2.867,65 ton/ha.ano, 2.463,98 ton/ha.ano e 1.977,84 ton/ha.ano de solos atingiram os rios da região nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente. Isso aconteceu simultaneamente ao aumento das áreas de matas nativas, vindo sustentar a grande importância da conservação da vegetação nativa frente aos processos erosivos.

Com relação aos objetivos específicos, estes também foram atingidos, cabendo destacar que a erosividade das chuvas na área de estudo, foi considerada de média a alta intensidade, com predominância da primeira classe mencionada. Entretanto, ela varia ao longo do ano, visto que as chuvas mais torrenciais ocorrem principalmente nos meses de verão. Com relação à erodibilidade dos solos, tem-se que a maior parte da área de estudo (95,75%) é considerada baixa, estando o restante na classe média a alta. Quando considerado o relevo da região, este mostrou-se muito complexo, apresentando desde áreas planas até áreas altamente escarpadas, principalmente nas áreas abrangidas pelas APA's. Por último, a cobertura do solo, de maneira geral, aponta para a necessidade de recuperação das áreas de matas nativas, principalmente na área das APA's. Além disso, ao longo do período analisado, verificou-se também que as áreas de atividades agrícolas estão reduzindo em termos de área ocupada. Entretanto, ainda que timidamente, constatou-se que as áreas destinadas à plantação de eucalipto aumentaram de tamanho.

Embora os solos existentes na área de estudo ofereçam grande resistência à erosão, tem-se que nos locais com as maiores declividades e influências antrópicas, principalmente quando se trata das atividades agrícolas, interferem substancialmente nas perdas de solo. Mesmo havendo uma recomposição considerável da vegetação nativa ao longo do período considerado, é evidente que o reordenamento do uso do solo, considerando manejos e práticas mais conservacionistas, pode proteger o solo adequadamente, favorecendo positivamente na contenção dos avanços dos processos erosivos laminares. Além disso, a compactação do solo, associado às chuvas, garante grandes potencialidades de risco aos recursos hídricos da região em função do carreamento, pela água das chuvas, das associações de sedimentos com agrotóxicos, matéria orgânica, microrganismos ou mesmo substâncias nocivas impostas por automóveis nas cidades e rodovias.

Em termos de modelos espaciais referentes à EPS, é possível concluir que as características geomorfológicas e geológicas do local são bem atuantes. Houve uma tendência em classificar com valores de perda de solo nas classes muito baixa e baixa, em termos de EPS, havendo inclusive sutil diminuição dessas classes de um período para outro, enquanto as classes consideradas mais agressivas com relação à erosão, ou seja, as classes muito severas e extremamente severas seguiram tendência de crescimento, estando estas localizadas, sobretudo em áreas de solo exposto e atividades agrícolas. As classes intermediárias da classificação adotada (moderada e severa) sofreram pouca alteração. Com relação ao PNE, a classe de menor potencial erosivo também predominou, porém os percentuais em classes mais altas, como moderado e extremamente severo, apresentaram valores bem expressivos sendo estes associados diretamente à geomorfologia do local visto que os maiores valores coincidiram com as maiores altitudes.

Outra questão que merece ser comentada refere-se ao rápido crescimento populacional verificado na área de estudo, com destaque à população do estado de São Paulo, que apresenta o maior contingente populacional, embora ocupe a segunda posição em termos de área abrangida neste estudo. Além disso, a população da pequena área fluminense envolvida neste estudo é quase que a mesma da área de Minas Gerais que ocupa mais da metade da área total de estudo.

A principal consequência direta da erosão e do aumento populacional na região

de estudo envolve a manutenção da qualidade dos recursos hídricos, elemento muito sensível às intervenções humanas e flutuações naturais, em especial as climáticas. A região estudada abriga uma grande quantidade de nascentes d'água e é responsável pelo suprimento de água da região mais desenvolvida e populosa do Brasil. Em muitos locais produtores de água a antropização já é crítica. Diante dessas questões, faz-se necessário que o uso e a ocupação do solo dessas áreas tenham por base a responsabilidade social e ambiental, com vistas à sustentabilidade dos recursos hídricos através de um planejamento mais criterioso desses espaços. Tendo por base as informações levantadas pelo presente trabalho será possível traçar um plano que indique mudanças nas formas de uso e manejo do solo a fim de reduzir a EPS para níveis aceitáveis.

Portanto, a modelação da erosão hídrica do solo em ambiente SIG através da EUPS empregado em análises multitemporais, devido a sua versatilidade em termos de tempo de trabalho, custo e manipulação das informações, mostrou-se muito eficiente, permitindo inclusive auxiliar tomadores de decisão em questões de planejamento ambiental e territorial a apontar áreas prioritárias para a implantação de programas de conservação do solo e da água na área de estudo deste trabalho.

6.1. RECOMENDAÇÕES

Em se tratando de uma região de grande importância em termos econômicos e ambientais para o Brasil e, ainda por se tratar de um assunto de grande complexidade em termos de causas e efeitos em especial sobre os mananciais, o carreamento de sedimentos envolve também o transporte de poluentes. Muito mais que o comprometimento da disponibilidade de energia elétrica devido ao assoreamento dos reservatórios existentes na área, a qualidade da água é afetada, resultando em aumento dos custos de tratamento e na redução de sua oferta, colocando em risco muito mais que o desenvolvimento econômico do país, a saúde da própria população. Sendo assim, é recomendável que os comitês de bacia existentes na região busquem desenvolver ações que tenham por foco reduzir os impactos advindos com a erosão, em especial, nos mananciais de abastecimento, servindo inclusive esse trabalho de fonte de dados sobre a questão levantada. Além disso, sugere-se também o emprego de imagens de satélite com melhores resoluções espaciais e o emprego de mapas pedológicos específicos da região de estudo do presente trabalho.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, p. 349-364, 1977.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. & Fuck, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, p. 1-29, 1981.
- ALMOROX, A. J.; LÓPEZ, B. F.; RAFAELLI, S. La degradación de los suelos por erosión hídrica. In: **Métodos de estimación**. Murcia: Universidad de Murcia, p. 11-12, 2008.
- ALVIM, A. T. B.; KATO, V. R. C & JEANE, R. G. R.. A urgência das águas: intervenções urbanas em áreas de mananciais. **Cadernos Metrópole**. São Paulo, v. 17, p. 83-107, 2015.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. & MATOS, A.T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE E WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Eng. Agríc.**, v. 30, p.1046-1049, 2010.
- 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., Cap. 4, Viçosa: Ed. Viçosa, 2009.
- ANA. AGENCIA NACIONAL DE AGUAS. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas. **Portal de Qualidade de Águas**. 2016. Disponível em:<<http://portalpnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 320, 2005.
- ARNOLD, J. G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I. model development. **American Water Research Association**, v. 34, p. 73-89, 1998.
- SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

ATUCHA, A.; MERWIN, I. A.; BROWN, M. G.; GARDIAZABAL, F.; MENA, F.; ADRIAZOLA, C.; LEHMANN, J. Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea Americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 368, p. 393-406, 2013.

AUGUSTUS, E. **Guia Ecológico Blog**: A importância das matas ciliares, São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://guiaecologico.wordpress.com/2012/04/04/a-importancia-das-matas-ciliares>>. Acesso em: 12 out. 2016.

BABAN, S.M.J.; YUSOF, K.W. Modelling soil erosion in tropical environments using remote sensing and geographical information systems. **Journal des Sciences Hydrologiques**, v.46, n.2, p.191–198, 2001.

BAPTISTA, G. M. M, **Diagnóstico Ambiental de Erosão Laminar**: modelo geotecnológico e aplicação. Brasília: Universa, p. 140, 2003.

BERTOL, I.; SCHICK, J. & BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 545-552, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4. ed., São Paulo: Ícone, 355p., 1999.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BESKOW, S., MELLO, C. R., NORTON, L. D. CURI, N., VIOLA, M. R., AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, p. 49–59, 2009.

BITAR, O. Y. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995. 274p.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

BOCCO, G.; VELÁSQUEZ, A. e TORRES, A. Ciência, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Um caso de investigación participativa em México. **Interciencia**, v. 25, n. 2, p. 64-70, 2000.

BORGES, M.J.; PISSARRA, T.C.T.; VALERI, S.V.; OKUMURA, E.M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 93-103, 2005.

BRAGAGNOLO, N., PAN, W., THOMA, P. Inter, J.C.. **Solo, uma experiência em manejo e conservação**. Ed. Bragagnolo, Curitiba, 1997.

BRANDÃO, D. **Risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Pinhal–Limeira (SP): uma proposta metodológica**. 2001. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br>>. Acesso em: 08 jul. 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 302**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno, Brasília, DF, 20 de março de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 303**. Dispõem sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, Brasília, DF, 20 de março de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 367**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, Brasília, DF, 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 369**. Dispõem sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente, Brasília, DF, 28 de março de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

BRASIL. **Decreto nº 91.304**. Dispõe sobre a Implantação de Área de Proteção Ambiental nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, e dá outras providências. Brasília, DF, 03 de junho de 1985. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

BRASIL. **Decreto nº 6.660**. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF, 21 de novembro de 2008. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Diretoria de Engenharia Rodoviária. Divisão de Estudos e Projetos. Serviço de Estudos Rodoviários e Ambientais. **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos>>. Acesso em: 26 set. 2016.

BRASIL. **Lei nº 6.902**. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Brasília, DF, 27 de abril de 1981. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.433**. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH). Brasília, DF, 08 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.985**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Brasília, DF, 18 de julho de 2000. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

BRASIL. **Lei nº 11.428**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF, 22 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.651**. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF, 25 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de informações sobre Saneamento**. Brasília: SNIS, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Roteiro metodológico para gestão de área de proteção ambiental, APA**. Brasília: IBAMA, 2001.

BRHANE, G.; MEKONEN, K. **Estimating Soil Loss Using Universal Soil Loss Equation (USLE) for Soil Conservation planning at Medego Watershed, Northern Ethiopia**. Journal of American Science, v.5, n.1, p.58-69, 2009.

BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, T. D. **Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens CCD/CBERS 2**. Caminhos de Geografia – revista on line. V.13, n.15, p.144-153, 2005.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. (org). **Dossiê ABRASCO Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão popular, 624 p., 2015. Disponível em <http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2016.

CARNEIRO C.D.R., TOLEDO M.C.Mde, ALMEIDA F.F.M.de. 2003. Dez motivos para a inclusão de temas de Geologia na educação Básica. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 34, n. 4, p. 553-560, 2003.

CARNEIRO, P.R.F. **Controle de inundações em bacias metropolitanas considerando a integração do planejamento do uso do solo à gestão dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia dos rios Iguaçu/Sarapuá na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2008.296 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CARSON, H.A. & KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process**. Cambridge, Univ. Press, 1972.

CARVALHO, D. A. **Estudos florísticos e fitossociológicos em remanescentes de Florestas Ripárias do Alto São Francisco e Bacia do Rio Doce – MG**. Lavras: Universidade Federal de Lavras/ CEMIG. 39 p. 1999.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R. & BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p.7-14, 2005.

CARVALHO, T. M. Métodos de sensoriamento remoto aplicados à geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.1, n.1(xii), p. 44-54, 2007.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M.. Utilização dos Produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no Mapeamento Geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 9, n. 1, p. 35-41, 2008.

CASCALE, G.S; ELVIRA, S. P. L; LOZANO, S. J. M. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. **Revista Renewable and Sustainable Energy**. n. 24, p. 544-556, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

CASSETI, V. Concentração de sedimentos em suspensão no baixo ribeirão João Leite-Goiânia-GO. **Boletim Goiano de Geografia** v. 9 e 10, n. (1-2), p. 71-97, 1989/90.

CASTRO, M. N.; MARTINEZ CASTRO, R.; SOUZA, P. C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 25, n. 4, p. 230-241, 2013.

CAVALCANTE, I. N.; SANTIAGO, M. M. F.; REBOUÇAS, A. C. Hidroquímica dos sistemas aquíferos manto de intemperismo e meio fraturado na região de Atibaia, SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Estado de São Paulo. **Revista de Geologia**, v. 11, p. 31-39, 1998.

CAVALCANTE, T. D. M. **Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2013.

CECÍLIO, R.A. **Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ou USLE, em inglês)**. Disponível em: <<http://www.nedtc.ufes.br>>. Acesso em: 08 dez. 2015.

CBH-SM – COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA. **Serra da Mantiqueira – Respeito e conservação**, 2010. Disponível em: < <http://www.comitesm.sp.gov.br/serramantiqueira.php>>. Acesso em 26 out. 2016.

CHAMBERS, P.A., McGOLDRICK, D.J., BRUA, R.B., VIS, C., CULP, J.M., BENOY, G.A.. Development of environmental thresholds for nitrogen and phosphorus in streams. **Journal Environmental**. v. 41, p. 7–20, 2012.

CHAVES, A. A. *et al.* Uso das terras da parte norte da bacia do Rio Descoberto, Distrito Federal, Brasília. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 711-718, jul/set. 2010.

CHAVES, L. H. M. Aplicação de modelos na previsão da erosão. Resumo da mesa redonda. **5^o Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. ANAIS - Boletim de Campo. Bauru - SP. p. 49 – 54, 1995.

CHRISTOFOLETTI, Antônio, **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda. 188 p, 1980.

COELHO JUNIOR, J. M.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. S. C. O. . **Topografia Geral**. 1. ed. Recife: UFRPE, 97p., 2014.

COELHO, MARIA C. N.. **Impactos ambientais em áreas urbanas- teorias, conceitos e métodos de pesquisa**. In: **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil/** Antônio José Teixeira Guerra, Sandra Baptista da Cunha (organizadores) – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 416p., 2001.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório sobre a qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. 2015. Disponível em <www.aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 14 set. 2016.

COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS - COMIG. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais**. Escala 1: 1.000.000. Belo Horizonte: COMIG-CSRMG, 1994.

COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A. ; LORANDI, R.; OLIVEIRA, E. Z. Follow-up of environmental impacts upon water sources of São Carlos, Brazil. **14 TH COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT**. p. 156-22. Disponível em: <<http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S. GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O' NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M.. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: J. Wiley, 928 p, 1993.

CUNHA, Sandra B. **Geomorfologia Fluvial**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) **Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 211-252, 1997.

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**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, 2012.

DEMESOUKA, O. E, VAVATSIKOS, A. P; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. **Revista Waste Management** . n. 33, p. 1190-1206, fev. 2013. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com>>: Acesso em 12 jan. 2016.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

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

DIAZ, J. S. **Control de erosion em zonas tropicales**. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial Santander, 555 p, 2001.

DI GREGÓRIO, A. **Land cover classification system (LCCS), version 2: classification concepts and user manual**. Rome: FAO, 2004.

DILL A. C *et al.* Aplicação de um SIG na seleção de locais para implantação de aterros sanitários em áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos. In: **A hidroinformática em Portugal**, 2001, Lisboa. Ata eletrônica. Disponível em:< <http://www.lneg.pt>>. Acesso em 02 mar. 2016.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.115-125, jan./abr. 2005.

DOSSKEY, M.G.; VIDON, P.; GURWICK, N.P.; ALLAN, C.J.; DUVAL, T.P.; LOWRANCE, R. The Role of Riparian Vegetation in Protecting and Improving Chemical Water Quality in Streams. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 2, p. 261-277, 2010.

EASTMAN, J. R. **Manual do Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutoriais**. UFRGS/ Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, p. 245, 1998.

EGG, G.C. **Geração de Modelos Digitais de Superfícies Compostos Utilizando Imagens do Sensor PRISM/ALOS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 159p., 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** – Florianópolis: Editora UFSC v.3, p. 877-1436, 2003.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2 ed., Brasília. 306 p, 2006.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

_____. **Base Solos e vida – uma relação direta e abrangente.** 2015. Disponível em <www.embrapa.br/ano-internacional-dos-solos>. Acesso em: 15 dez. 2015.

_____. **Cultivo de algodão Irrigado.** 2003. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

ESRI. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst.** Redlands, CA: ESRI Press, 2013.

FADINI, Almerinda A. B. (2005). **Sustentabilidade e Identidade Local: Pauta para um Planejamento Ambiental Participativo em Sub-bacias Hidrográficas da Região Bragantina.** Tese de Doutorado. Rio Claro: UNESP.

FARINASSO, M. **Avaliação qualitativa do potencial erosivo em grandes áreas por meio da EUPS-Equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias de sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-PI - MA.** 2005.105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

FARINASSO, M.; CARVALHO, 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 perda de solo utilizando novas metodologias em Sig para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba - Pi-Ma. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, nº 2, 2006.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos**, Roma, 86 p, 1980.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. **Modelagem Numérica de Terreno.** In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, SP: INPE, Cap. 7, 36p, 2004.

FERNANDES, A.R. **Determinação das perdas de solos por erosão hídrica.** Disponível em: <http://www.ufra.edu.br/professores/antonio_ica/documentos>. Acesso em: 08 dez. 2015.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

FERNANDES, J. F.; DE SOUZA, A. L. T.; TANAKA, M. O.. Can the structure of a riparian forest remanant influence stream water quality? A tropical case study. **Hydrobiologia**, v. 724, p. 175-185, 2014.

FERREIRA, V. M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo**. 2005. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento Remoto para Geomorfologia**. In: Florenzano, Teresa Gallotti. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 2, p. 31-71, 2008.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. “Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units”. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981.

GASPARI, F.J.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.V.; SENISTERRA, G.E. **Estimation of soil erosionability in the stream basin of Pillahuinco Grande**, province of Buenos Aires, Argentina. *Ciencia Investigación Agraria*, v. 35, n. 1, p. 43-52, 2009.

GITAS, I.Z. et al. **Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified usle raster model**. *EARSeL eProceedings*, v. 8, p. 40-52, 2009.

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

GRIGIO, A. M.. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental no Município de Guamaré (RN): Simulação de Risco às Atividades da Indústria Petrolífera Natal**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

GUIMARÃES, F. S.; CARVALHO, G. A. Determinação de áreas de preservação permanente no município de Moeda - MG, utilizando bases de diferentes escalas topográficas. **Caderno de Geografia**, v.23, n.39, p. 22-43, jan.-jun. 2013. Disponível

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

em < <http://periodicos.pucminas.br>>: Acesso em: 05 jan. 2016.

HERMES, L. C.; FAY, E. F.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; SILVA, A de S.; SILVA, E. F. F. **Participação comunitária em Monitoramento da qualidade da água**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 2004. 8 p. (EMBRAPA-CNPMA. Circular técnica, 8).

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. **A erosão e seu impacto**. In: Manzatto, C.V.; Freitas Júnior, E.; Peres, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 174p, 2002.

HOEFFEL, João Luiz; FADINI, Almerinda; SEIXAS, Sônia R. C. (Orgs.) (2010) **Sustentabilidade, qualidade de vida e identidade local olhares sobre as APA's Cantareira, SP e Fernão Dias, MG**. São Carlos: RiMa.

HOEFFEL João Luiz; FADINI, Almerinda A. B.; MACHADO, Micheli K.; REIS, Jussara C. Trajetórias do Jaguar - Unidades de Conservação, Percepção Ambiental e Turismo - Um Estudo na APA do Sistema Cantareira, São Paulo. **Ambiente & Sociedade**. Campinas/SP, v. 11, p. 131-148, 2008.

HUNINK, J. E.; DROOGERS, P.; KAUFFMAN, S.; MWANIKI, B. M.; BOUMA, J. Quantitative simulation tools to analyse up- and downstream interactions of soil and water conservation measures: Supporting policy making in the Green Water Credits program of Kenya. **Journal of Environmental Management**, v.111, p.187 - 194, 2012.

IBITU CONSULTORIA AMBIENTAL. **APA Fernão Dias – Plano de Gestão Ambiental**. Belo Horizonte: IBITU/DER-MG, v. 1, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base de Informações Municipais**. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 31 jul. 2015.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA. **Boletim consolidado de qualidade das águas das regiões hidrográficas do Estado do Rio De Janeiro**. 2015.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Disponível em <www.inea.rj.gov.br>. Acesso em: 15 set. 2016.

INSTITUTO FLORESTAL – IF. **Mapa de uso e ocupação da Terra** (*shapefiles*) e ortofotos (.tif e mosaico em .dwg) dos municípios da UGRHI-1 – empreendimentos FEHIDRO SM-22 e SM-23, 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Bacia hidrográfica do Rio Grande**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

_____. **Relatório de monitoramento das águas superficiais**. 2015. Resumo executivo. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Catálogo de imagens**. LANDSAT 5, 1984. Disponível em <www.inpe.br>. Acesso em: 15 set. 2015.

IRVEM, A; TOPALOGLU, F; UYGUR, V. Estimating Spatial Distribution of Soil Loss Over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 336, p.30– 37, 2007.

ISAAKS, Edward H.; SRIVASTAVA, R.M. An **Introduction to Applied Geostatistics**. NY: Oxford University Press, Inc., p.278, 1989.

JONES, K. B.; NEALE, A. C.; NASH, M. S.; VAN REMORTEL, R. D.; WICKHAM, J. D.; RITTERS, K. H.; O'NEILL, R. V. Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: a multiple watershed study from the United States Mid- Atlantic Region. **Landscape Ecology**, v.61, p.301-312, 2001.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE J. R. B.; COUTINHO R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, p.2167-2174, 2011.

LANE, L. J.; NEARING, M.A. USDA – Water Erosion Prediction Project (WEPP): hillslope profile version. Profile model documentation. NSERL Report 2, **West Lafayette**, USDA-ARS, 269p, 1989.

LEITE, C.A.S. (coord.), 2004. Folha SF-23 – RIO DE JANEIRO. In: SCHOBERRHAUS, C. et al. (eds.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**,

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Sistema de Informações Geológicas. Programa Geologia do Brasil (CPRM, Brasília, CD-ROM).

LE SAOUT, S.; HOFFMANN, M.; SHI, Y.; HUGHES, A.; BERNARD, C.; BROOKS, T. M.; BERTZKY, B.; BUTCHART, S. H. M.; STUART, S. N.; BADMAN, T.; RODRIGUES, A. S. L. Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. **Science Journals**, v.342, p.803-805, 2013.

LEUZINGER, Márcia Dieguez. **Natureza e cultura: direito ao meio ambiente equilibrado e direitos culturais diante da criação de unidades de conservação de proteção integral e domínio público habit.** 2007. 357 f., il. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável)—Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman. 540p, 2013.

LÓPEZ-VICENTE, M.; POESEN, J.; NAVAS, A.; GASPAR, A. Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees. **Catena**, 2011.

LUZ, F. G. F. **Avaliação do potencial dos dados da SRTM – Shuttle Radar Topography Mission – por meio da análise da estimativa da perda de solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, 2012.

MACHADO, M. L.; ALVES, J. S.; GOMES, I.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R.; NAIME, U. J. **Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais).** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p.7733-7739, 2009.

MAGALHÃES, C. de S.; FERREIRAS, R. M. A. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.207, p.33-39,

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

nov./dez. 2000.

MARQUES, J.J.G. de S. e M. **Estimativas e comparações dos fatores das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte b textural no Brasil**. 1996. 119f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

MARTINS, S. L. *et al.* **Análise multitemporal por imagem TM do uso e ocupação do solo na região nordeste da rodovia BR-319**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE. p. 1782-1789, 2013. Disponível em: . Acesso em: 05 jan. 2016.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares: no contexto do Novo Código Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2014.

MATHERON, G. **Traité de géostatistique appliquée**. Paris: technip. 172p, 1962.

Mc COOL, D.K., BROWN, L.C., and FOSTER, G.R.. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.30, p.1387-1396, 1987.

Mc COOL, D.K., FOSTER, G.R., MUTCHLER, C.K., and MEYER, L.D.. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.32, p.1571-1576, 1989.

MEA- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005. Disponível em <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>> Acesso em: 13 mar. 2016.

MEDEIROS, Anderson M. L. de. **Artigos sobre conceitos em geoprocessamento**. Ebook, 2012. Disponível em: <<http://andersonmedeiros.com>>. Acesso em 02 mar. 2016.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C. E. F.. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: Relatório Final**. Brasília: UNEP-WCMC, 2011.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

MINAS GERAIS (1997). **Decreto Estadual nº 38.925**, de 17 de Julho de 1997. Belo Horizonte, Assembleia Legislativa.

MIRANDA, E. E.. Brasil em Relevô. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MMA/IBAMA. **Marco Conceitual das Unidades de Conservação**. Brasília: IBAMA, 2000. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/siucweb/guiadechefe/>>. Acesso em: 25 jun. de 2015.

MORETI, D. *et al.* Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manoel (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.1, n.1, p.713-726, 2003.

MORI, G.B., DE PAULA, F.R., FERRAZ, S.F.B., CAMARGO, A.F.M., MARTINELLI, L.A.. Influence of landscape properties on stream water quality in agricultural catchments in Southeastern Brazil. *Ann. Limnol. - International Journal Limnology*. v.51, p.11–21, 2015.

MYERS,N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NEARING, M.A.. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.917-919, 1997.

NEVES, J. A. **Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

NEVES, S. M. A.; NEVES, R.J.; FORNELOS, L.F./. **Aplicação de imagens do radar interferométrico (SRTM) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego Cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela / MT**. *Rev. Geogr.*

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Acadêmica v.2 n.2, 2008, 124-137.

NERY, C. V. M. et al. Aplicação do Novo Código Florestal na Avaliação das Áreas de Preservação Permanente em Topo de Morro na Sub-Bacia do Rio Canoas no Município de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1673-1688, nov. 2013. Disponível em <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

NISBET, D.; KREUTZWEISER, D.; SIBLEY, P.; SCARR, T. Ecological risks posed by emerald ash borer to riparian forest habitats: A review and problem formulation with management implications. **Forest Ecology and Management**, v.358, p.165-173, 2015.

NÓBREGA, R. A. A *et al.* **Comparação quantitativa e qualitativa entre Modelo Digital gerado pelo SRTM e por aerofotogrametria**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p 4437-4444, 2005.

OEKO – Jornalismo Ambiental. **O que é uma Área de Proteção Ambiental**. Disponível em: <<http://www.oeko.org.br>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

OLIVEIRA, F. G., SERAPHIM, O. J., BORJA, M. E. L. **Geotecnologias aplicadas a simulação de perdas de solo por erosão hídrica**. In: 6as Jornadas da América Latina e do Caribe de gvSIG. São Paulo. Disponível em: <<http://outreach.gvsig.org/node/1756>> e http://gvsig29.rssing.com/chan-29483538/all_p2.html>. Acesso em: 29 dez. 2015.

OLIVEIRA, F. G., SERAPHIM, O. J., BORJA, M. E. L. Estimativas das perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. **Energia na agricultura**, Botucatu, v.30, n.3, p.302-309, 2015. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia>>. Acesso em: 02 out. 2016.

OLIVEIRA, G. O. **Análise da acurácia temática de classificação de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2009.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

OLIVEIRA, M.C.T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In. **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.57-99, 1999.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, A.T.; RODRIGUES D.B.B.; PANACHUKI, E.. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**. v.25, p.1021-1036, 2011.

OUYANG, W.; SKIDMORE, A.K.; HAO,F.; WANG, T. Soil erosion dynamics response to landscape pattern. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 1358-1366, 2010.

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). **Revista Brasileira de Geociências**, v.29, n.4, p.589-601, 2010.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V. M.; MAL, B. C.. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and Remote Sensing. **Water Resources Management**, v.21, p.729-746, 2007.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R. Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. O.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.) **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, p.29-35, 2015. Disponível em: <www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/item/14>. Acesso em: 13 mar. 2016.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.. Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**. v.2, n.2, p.84-95, 2008.

PHILIPPI JR, A.; SILVEIRA, V. F. Controle da Qualidade das Águas. In: PHILIPPI JR, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Barueri: Manole, p.415-438, 2005.

PINTO, C.P. . Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil; carta geológica,

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

carta metalogenética/previsional-escala 1:100.000 (Folha Lima Duarte, SF 23-X-C-VI). Estado de Minas Gerais, DNPM/CPRM, 1991.

PINTO, C.P.; BRANDALISE, L.A., VIANA, H.S. & BRUNO, E.M.. Suíte Metamórfica São Bento das Torres, Serra da Mantiqueira, MG. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS**, 6, Ouro Preto, nov/1991. SBG - MG. REM, 45: 187-90, 1992.

PRADO, F. A. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográfica, Faculdade De Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente/SP. 2009.

PRASANNAKUMAR, V.; SHINY, R.; GEETHA, N.; VIJITH, H. Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: a case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. **Journal Environmental Earth Science.**, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LORENA. Disponível em: <<http://www.lorena.sp.gov.br>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Atlas Brasil 2013**. Disponível em: <www.pnud.org.br/atlas>. Acesso em: 31 jul. 2015.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2009.

PRUSKY, F. F.; MIRANDA, A. C. R.; NUNES, A. A. Manejo do solo e da água nas propriedades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 33, n. 271, p.32-43, nov./dez. 2012.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R.. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.57, n. 4, p.241-262, 2003.

REIS, L. C.; REIS, T. E. S.; ABI SAAB, O. J. G. Diagnóstico das áreas de preservação
SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

permanente das microbacias hidrográficas do município de Bandeirantes – Paraná. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 527-536, jul./set. 2009.

REZENDE, A.V. **Importância das Matas de Galeria: Manutenção e Recuperação**. In: RIBEIRO, J.F. Cerrado Matas de Galeria. EMBRAPA/CPAC. 1998.

RIKALOVIC, A; COSIC I; LAZAREVIC D. GIS Based Multi-criteria Analysis for Industrial Site Selection. **Revista Procedia Engineer**. n. 69, p. 1054-1063, 2014.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; VERDUM, R., DENARDIN, D. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.11, n.2, p.11-23, 2010.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar/** Cezar Henrique Barra Rocha. - Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 220p, 2000.

RODRIGUES, R. R.; FILHO, H. F. L. **Matas ciliares. Conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2014.

ROSA, A. H. ; FRACETO, L. F. ; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ROUSSEVA, S. **Ideas for physical interpretation of the USLE**. N. Poushkarov Research Institute for Soil Science and Agroecology, Lecture given at the College on Soil Physics Trieste, 3-21, Sofia, Bulgaria. March, p. 310-319, 2003.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. 2004. 105 p. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SANTOS, C.N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2008.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rainforest. **Annals of Botany**, London, v. 90, p. 517-524, 2002.

SCHOONOVER, J. E., B. G. LOCKABY & S. PAN. Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in western Georgia. **Urban Ecosystems**, v.8, p.107-124, 2005.

SCHULTZ, R.C.; ISENHART, T.M.; SIMPKINS, W.W.; COLLETTI, J.P. Riparian forest buffers in agroecosystems – lessons learned from the Bear Creek Watershed, central Iowa, USA. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 6, p. 35-50, 2004.

SELBY, M.J. Hillslope sediment transport and deposition. In. Sediment transport and depositional processes. **Blackwell Scientific Publications**, p.61-87, 1994.

SENER S; SENER E; NAS B; KARAGÜZEL R. Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). **Revista Waste Management**. n.30, p.2037-2046, 2010. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

SETUR – Secretaria de Turismo do Estado de Minas Gerais Disponível em: <<http://www.turismo.mg.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

SILVA, Alexandre M.; SCHULZ, Harry E.; CAMARGO, Plínio B. **Erosão e Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**, São Carlos - São Paulo: RiMa. 37p, 2003.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da equação universal de perda de solo com o uso de aplicativo informatizado compatível com software de geoprocessamento. **Galeria de Artigos Acadêmicos, Fator GIS**, 9p., 2003.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E. e CAMARGO, P.B.. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**, 2ª edição – revista e ampliada. Editora Rima, São Carlos – SP, Brasil, 153 p, 2007.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

SILVA, A.S.; NÓBREGA, M.T. A urbanização e os impactos erosivos no córrego Mandacaru, Maringá – PR. In: **ENCONTRO REGIONAL DE GEOGRAFIA APLICADA À GESTÃO DA SAÚDE**, 1. Maringá, 2007. Anais... Maringá: UEM, 2007.

SILVA, J.P.; RODRIGUES, C. Morfologia fluvial como indicador de geodiversidade: exemplos de rios brasileiros. **Geografia**, v.27, n.3, p.220-235, 2010.

SILVA, J.S.V.; SANTOS, R.F.; ABDON, M.M. **Avaliação do uso da terra na Bacia do Alto Taquari em 2000**. In: Sergio G.; Luiz, M.V.; Luiz Alberto P. (Ed. Tec.). **Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari-Pantanal. Corumbá**: EMBRAPA Pantanal, p.140-152, 2005.

SILVA; MARQUES, M. A.; RODRIGUES, B. B. . Erosividade Brasil: um sistema de consulta de dados de erosividade para os Municípios Brasileiros. In: **XVI Reunião Brasileira de manejo e Conservação do Solo e da Água**, 2006, Aracaju-SE. XVI Reunião Brasileira de manejo e Conservação do Solo e da Água, 2006.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M. de; FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, jun. 2000.

SILVA R. M. da, SANTOS C. A.G., MONTENEGRO S. M. G. L., SILVA L. P. e.. **Spatial analysis of vegetal cover and sediment yield in Tapacurá river catchment based on remote sensing and GIS**. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation, n. 42, p.5-16, 2010.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIGR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.5, p. 520-526, 2008.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, V.C.L.; SILVA, L.P. Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. Wageningen: Springer, v. 185, p. 8977-8990, 2013.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

SKORUPA, L. A. **Áreas de preservação permanente e desenvolvimento sustentável**. Jaguariúna: EMBRAPA, 4p, 2003.

SOUBHIA, P.F.; BIANCHINI, U.C. **Erosão e assoreamento em áreas urbanas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, PHD 2537 – Águas em Ambientes Urbanos, 2014.

SOUZA, A.L.T., FONSECA, D.G., LIBÓRIO, R.A., TANAKA, M.O.. Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low-order streams in SE Brazil. **Forest Ecology. Management**. v.298, p.12–18, 2013.

SPERANDELLI, D.; DUPAS, F.A.; PONS, N.A.D. Dynamics of urban sprawl, vacant land, and green spaces on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil. **Journal of Urban Planning and Development**, v.139, n.4, p.274-279, 2013.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A . F. PONÇANO, W. L. LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Marília, SP, p.105-135, 1987.

SUGA, C. M.; TANAKA, M. O. Influence of a forest remnant on macroinvertebrate communities in a degraded tropical stream. **Hydrobiology**, v.703, p.203-213, 2013.

STAVI ,I; LAL, R. Variability of soil physical quality in uneroded, eroded, and depositional cropland sites. **Geomorphology**, v.125, p.85- 91, 2011.

TANAKA, M.O., DE SOUZA, A.L.T., MOSCHINI, L.E., DE OLIVEIRA, A.K.. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.216, p.333–339, 2015.

TEIXEIRA, U. C; SILVA, A. B. Procedimentos Metodológicos para elaboração do mapa do fator L*S da equação universal de perda de solo (EUPS) utilizando sistemas de informações geográficas (SIG). RBGF. **Revista Brasileira de Geografia Física** Recife-PE, v.2, n.3, p.83-89, 2009.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

TOLEDO, K. **Desmatamento eleva em 100 vezes o custo do tratamento da água.** Agência Fapesp. 2014. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/19036>>. Acesso em: 04 out. 2016.

TOLEDO SILVA, R.. Águas e saneamento da metrópole: a atualidade dos desafios passados. **Revista DAE**, v. 62, n. 196, 2014. Edição Especial. Disponível em: http://revistadae.com.br/downloads/Revista_DAE_Edicao_196.pdf. Acesso em: 14 ago. 2016.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 31p, 1977.

TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. Geologia da Folha Pouso Alto. In: PEDROSA SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M. (Org.). **Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro, Projeto Sul de Minas - Etapa I**. Belo Horizonte: COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2003. CD-ROM.

TUCCI, C. E. M. *et al.* **Hidrologia. Ciência e aplicação**. 4. ed. Org: TUCCI, C. E. M. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CIMINELLI, V. S.; BARBOSA, F. A. Water availability, water quality water governance: the future ahead. **Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. IAHS Publication**, v.366, p.75-79, 2015.

UDAWATTA, R.P.; GARRETT, H.E.; KALLENBACH, R.L. Agroforestry and grass buffer effects on water quality in grazed pastures. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 79, p.81-87, 2010.

UNESCO. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. **Série Políticas Públicas**. Caderno n.27, 2003.

USGS (United State Geological Survey). <www.usgs.gov>. Acesso em: 31 ago. 2015.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

USGS – **Science for a Changing World**. Disponível em <<http://srtm.usgs.gov/index.php>>. Acesso em 12 jan. 2016.

VALÉRIO FILHO, M.; DONZELI, P. L.; PINTO, S. dos A. F., et al. Monitoramento dadinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Rio de Janeiro, 1997. **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. Anais... (CD ROM), Rio de Janeiro, 1997.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Jaboticabal – São Paulo – Brasil, Julho de 2008.

VALLE JUNIOR, R. R. do. et al. Diagnóstico das áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica do Corrego Jataí. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.153-157, 2011. Disponível em: <periodicos.ufersa.edu.br/revistas>. Acesso em 09 jan. 2016.

VAN OOST, K., GOVERS, G., and DESMET, P.. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. **Landscape Ecology**, v.15, p.577-589, 2000.

VARGAS, T. D. et al. Sistema de informações geográficas como ferramenta para o manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.32, n.263, p.12-20, 2011.

VIEIRA, L.S.. **Manual da Ciência do Solo**. 1 ed. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1975.

VILLENEUVE, B., SOUCHON, Y., USSEGLIO-POLATERA, P., FERRÉOL, M., VALETTE, L.. Can we predict biological condition of stream ecosystems? A multi-stressors approach linking three biological indices to physico-chemistry, hydromorphology and land use. **Ecol. Indic.** v.48, p.88–98, 2015.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

VLACH, S. R. F. **Geologia e petrologia dos granitóides de Morungaba, SP**. Tese de doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1993.

VON SPERLING, M. Introdução a qualidade das águas e tratamento de esgotos. In: VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2^o. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. I, 1998.

VON SPERLING, M. Noções de qualidade das águas. In: **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3^o ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, v.1, p.15-49, 2005.

WAGNER, C.S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.3, p.197-203, 1988.

WEISS, R. et al. Identificação da fragilidade ambiental quanto a enchentes na cidade de Santa Maria-RS, por geotecnologias. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX., 2012, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: ABRH**. p. 1-8, 2012. Disponível em: < <http://www.abrh.org.br/SGCv3>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

WILLIAMS, J. R.; DYKE, P. T.; JONES, C. A. EPIC: a model for assessing the effects of erosion on soil productivity. In: Laurenroth W. K. *et al.* (eds) Analysis of ecological systems. **State-of-the-Art in Ecological Modeling**, Amsterdam, p.553-572, 1983.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Rainfall energy and its relationships to soil loss**. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, DC, v.39, n.2, p.285-291, 1958.

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

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 58p, 1978.

WWF BRASIL. **O que são as matas ciliares?** [s.l.:s.n.], 2013. Disponível em: SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

<http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/matias_ciliares>. 2012. Acesso em: 03 set. 2015.

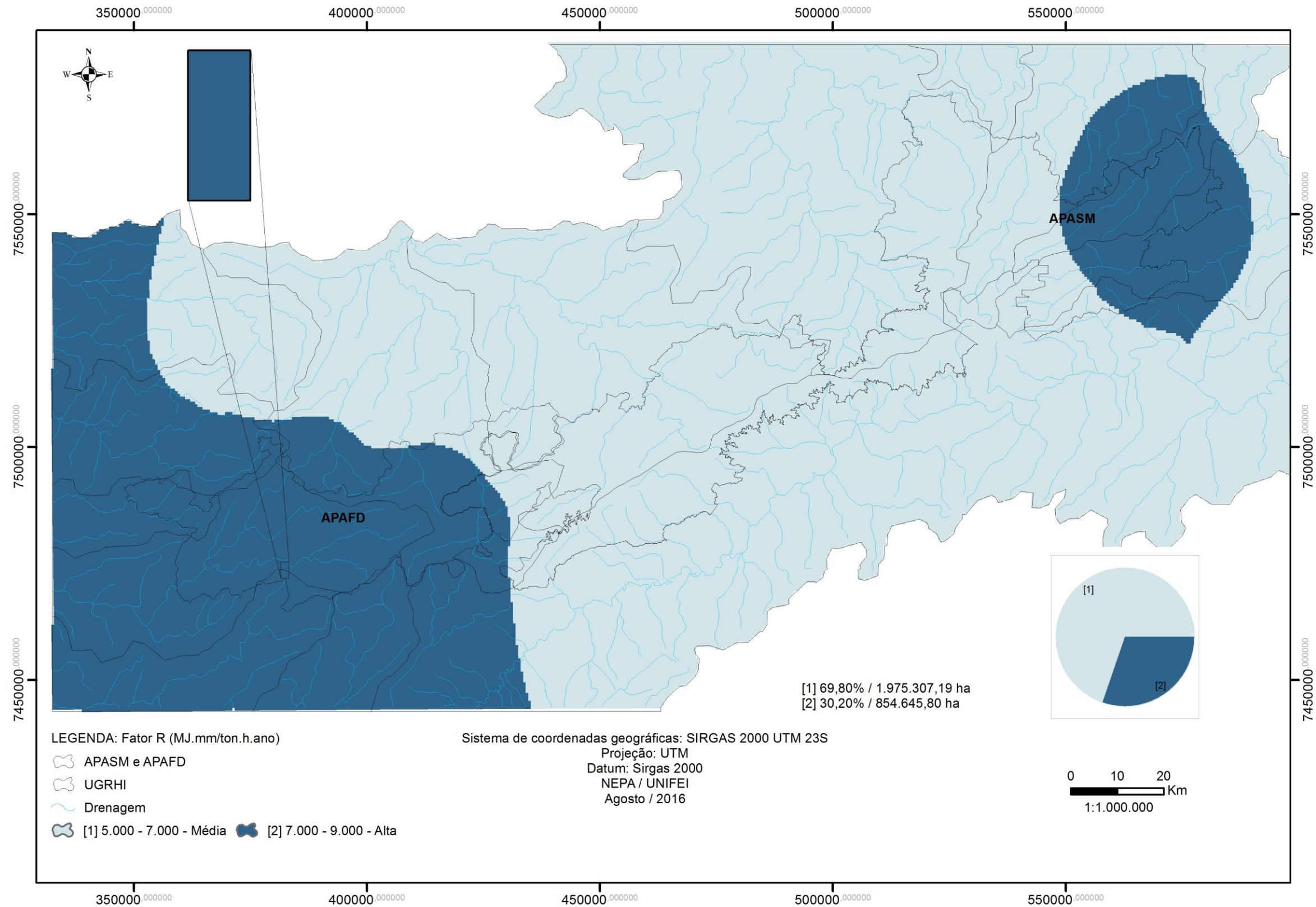
ZHANG, R.; LIU, X.; HEATHMAN, G.C.; YAO, X.; HU, X.; ZHANG, G. **Assessment of soil erosion sensitivity and analysis of sensitivity factors in the Tongbai–Dabie mountainous area of China**. Catena, v.101, p. 92–98, 2013.

ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R.. Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a Gis framework to assess soil erosion risk. **Land Degradation & Development**. v.20, p.84-91, 2009.

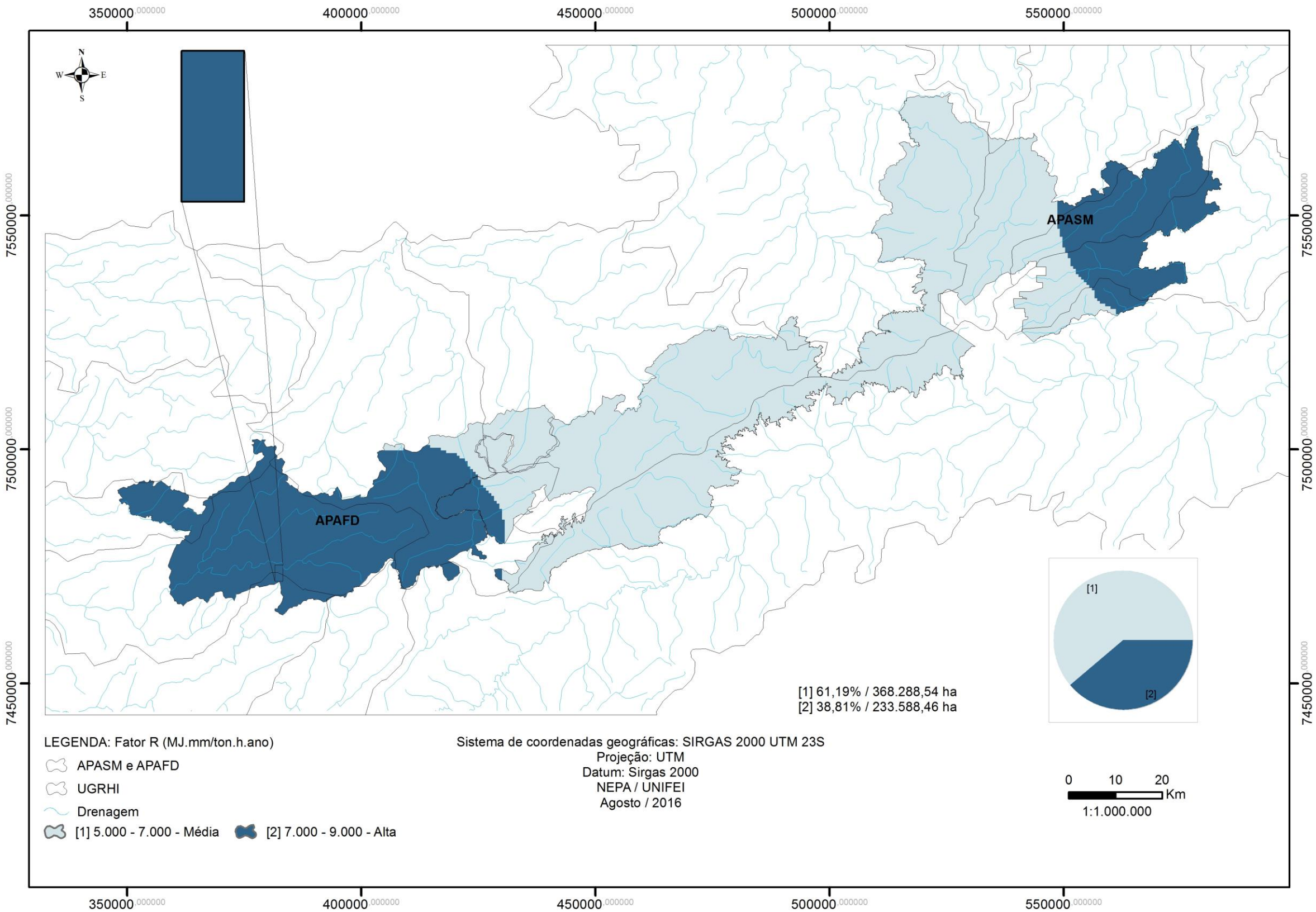
ZOCCAL, J. C. **Caderno de estudos em conservação do solo e água**. Presidente Prudente: CODASP, v.1, n.1, 2007.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

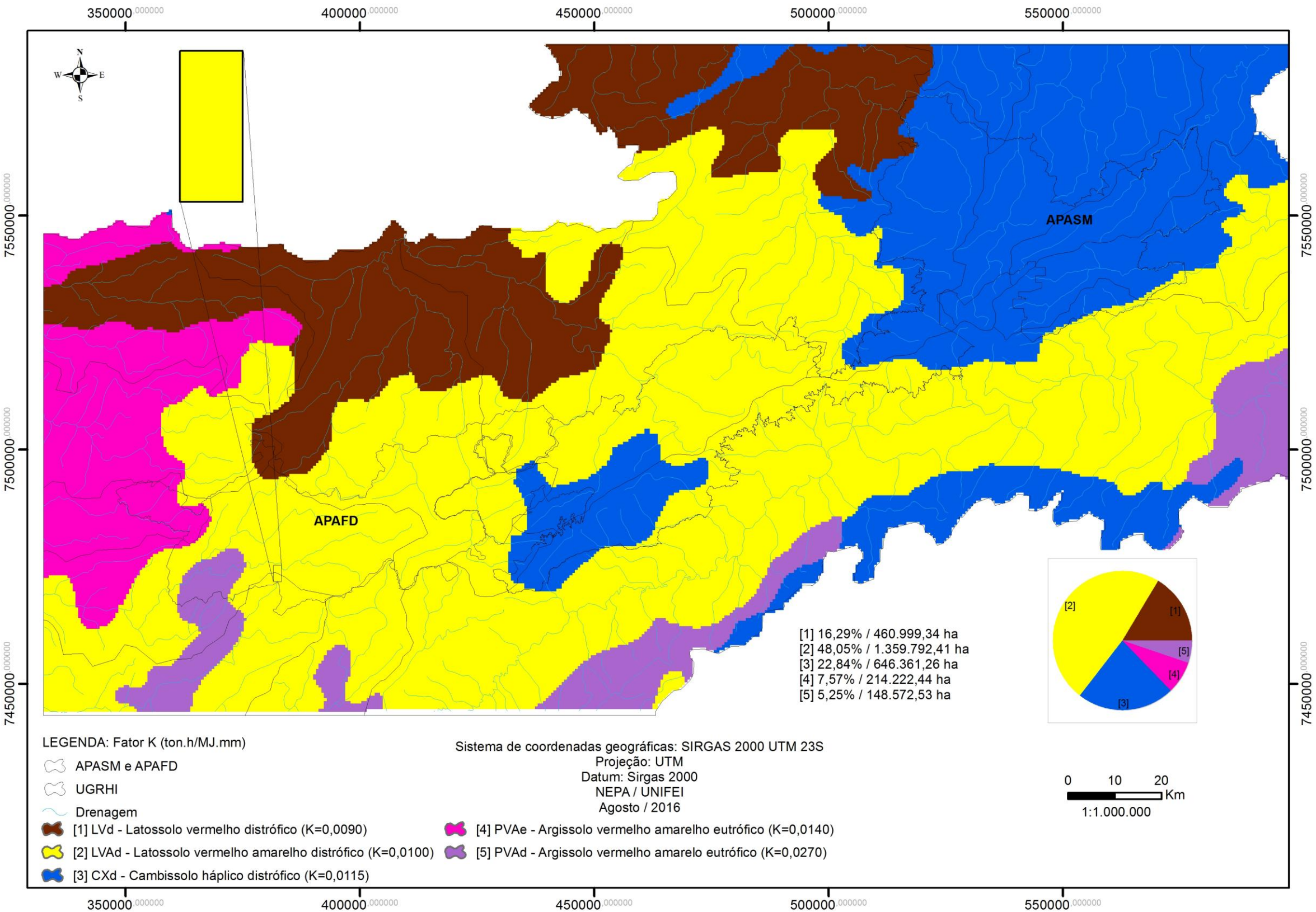
APÊNDICE I – Distribuição espacial do fator R na região de entorno das APA's.



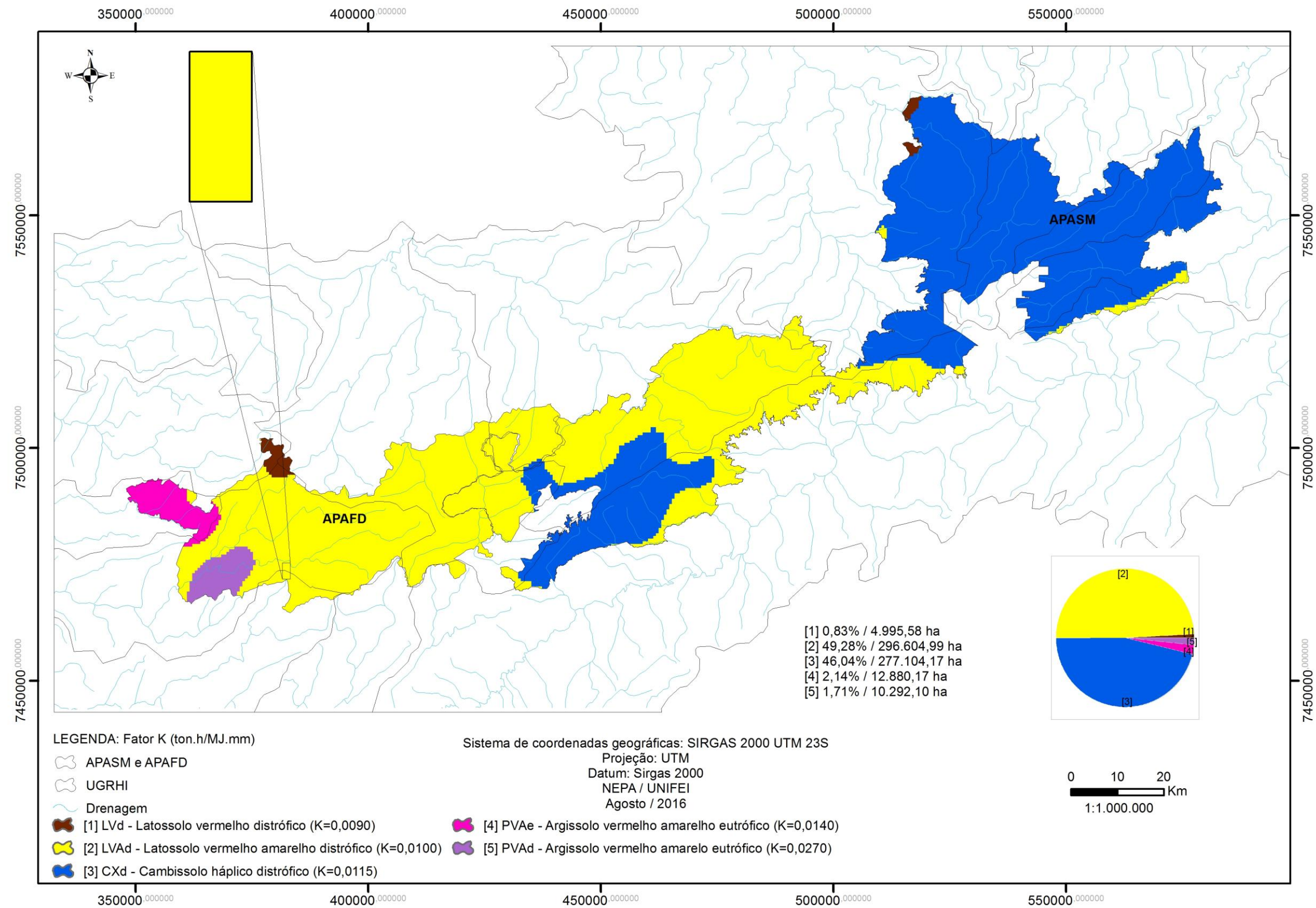
APÊNDICE II – Distribuição espacial do fator R na APASM e na APAFD.



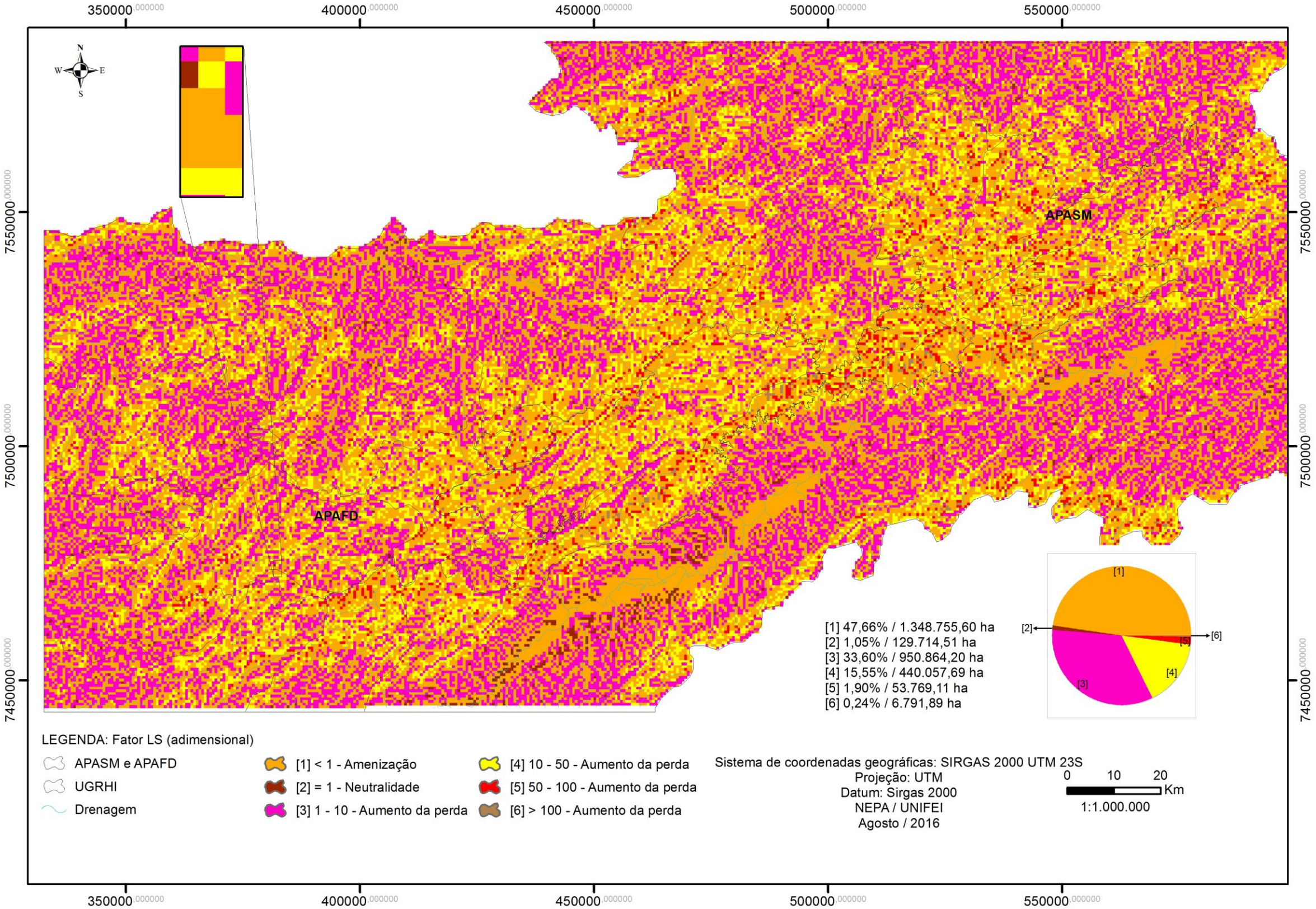
APÊNDICE III – Distribuição espacial do fator K na região de entorno das APA's.



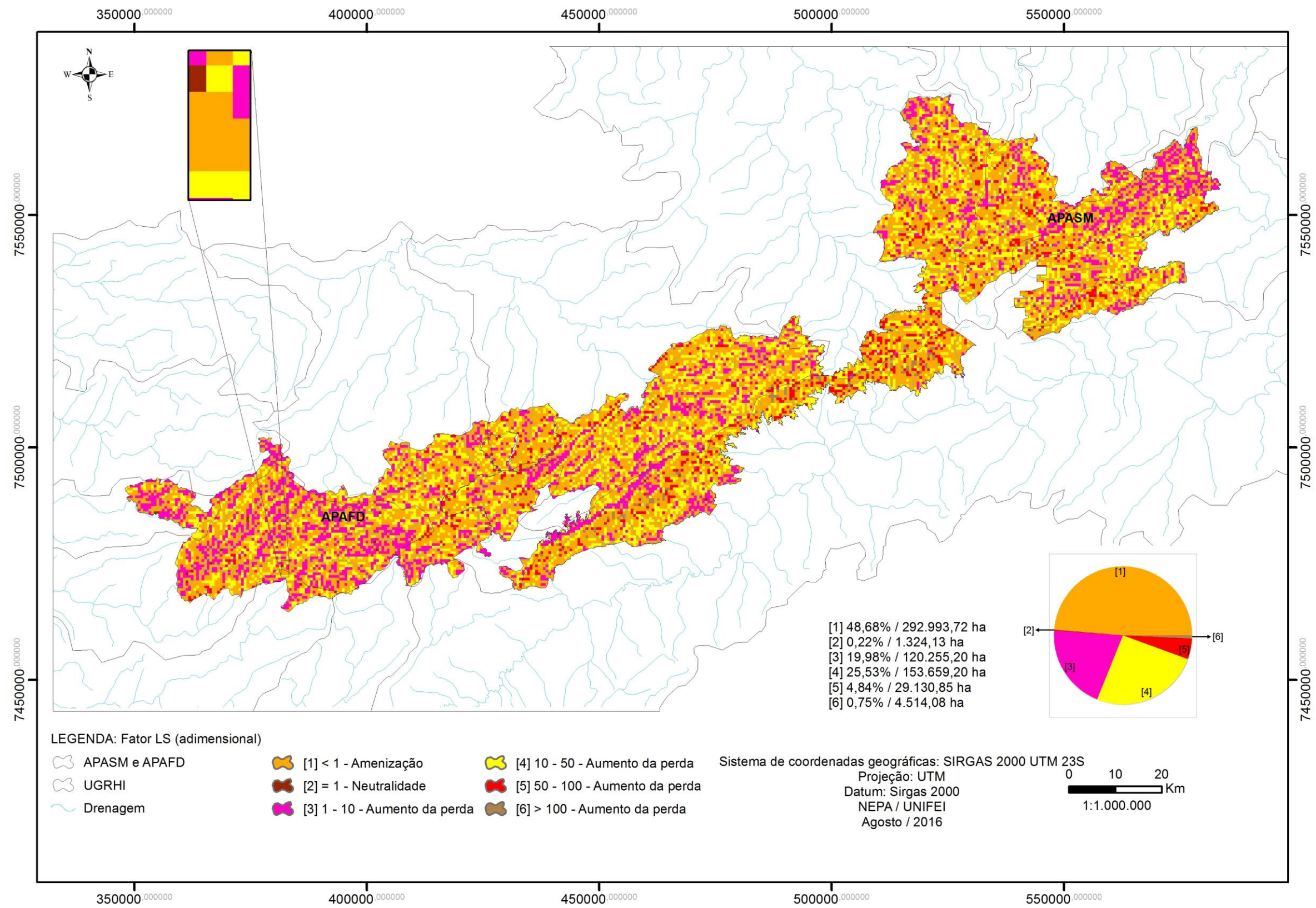
APÊNDICE IV – Distribuição espacial do fator K na APASM e na APAFD.



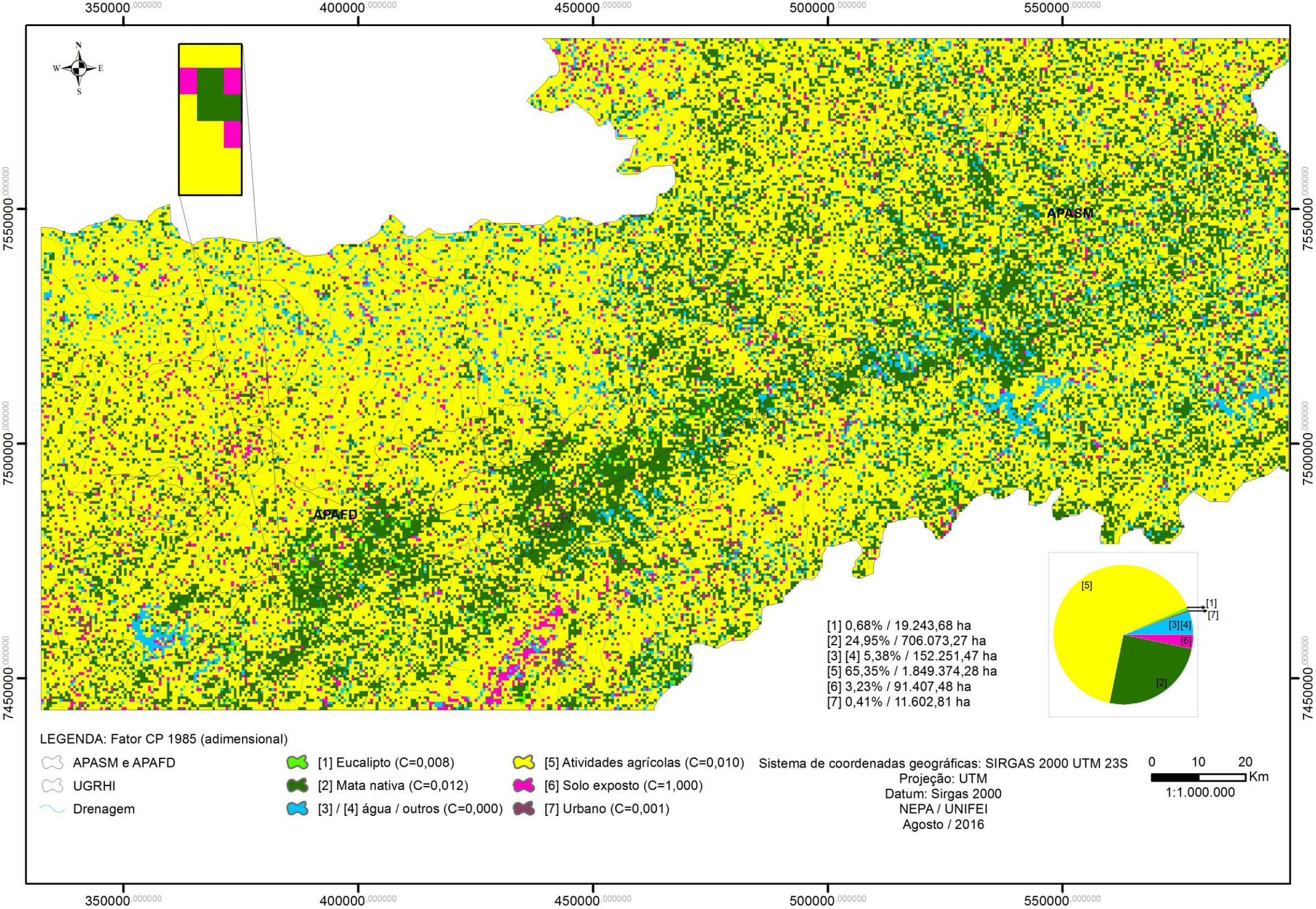
APÊNDICE V – Distribuição espacial do fator LS na região de entorno das APA's.



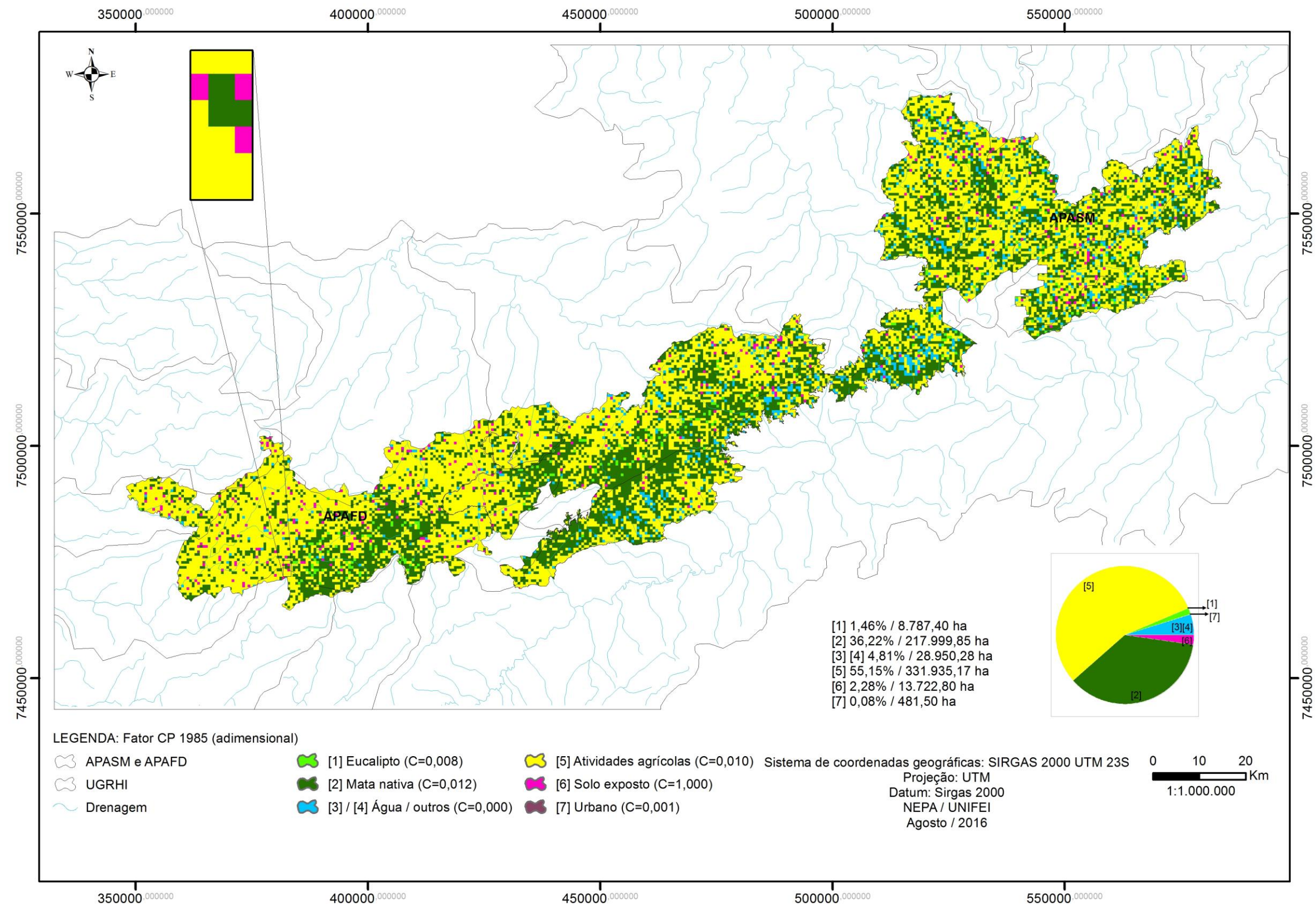
APÊNDICE VI – Distribuição espacial do fator LS na APASM e na APAFD.



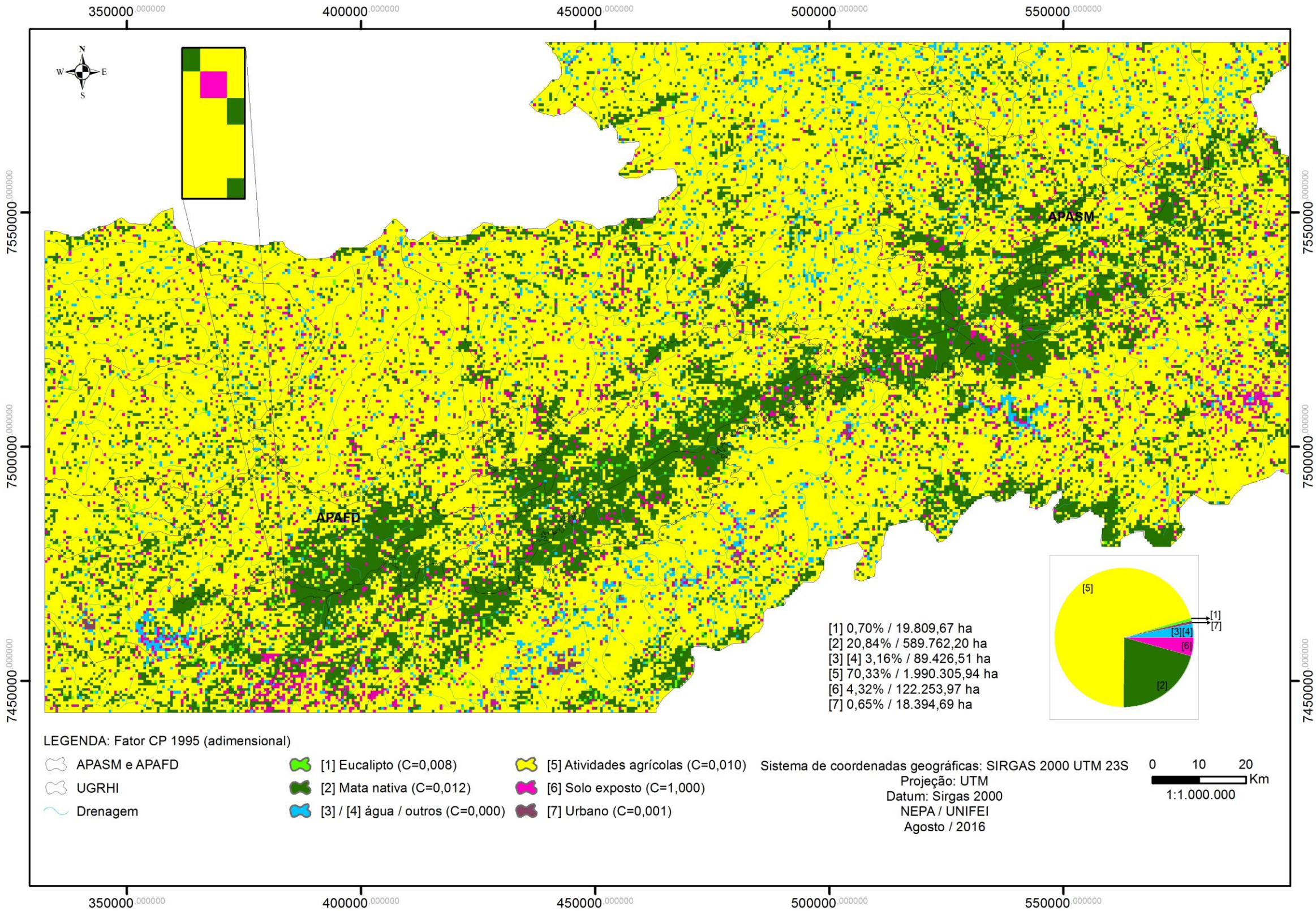
APÊNDICE VII – Distribuição espacial do fator CP na região de entorno das APA’s para o ano de 1985.



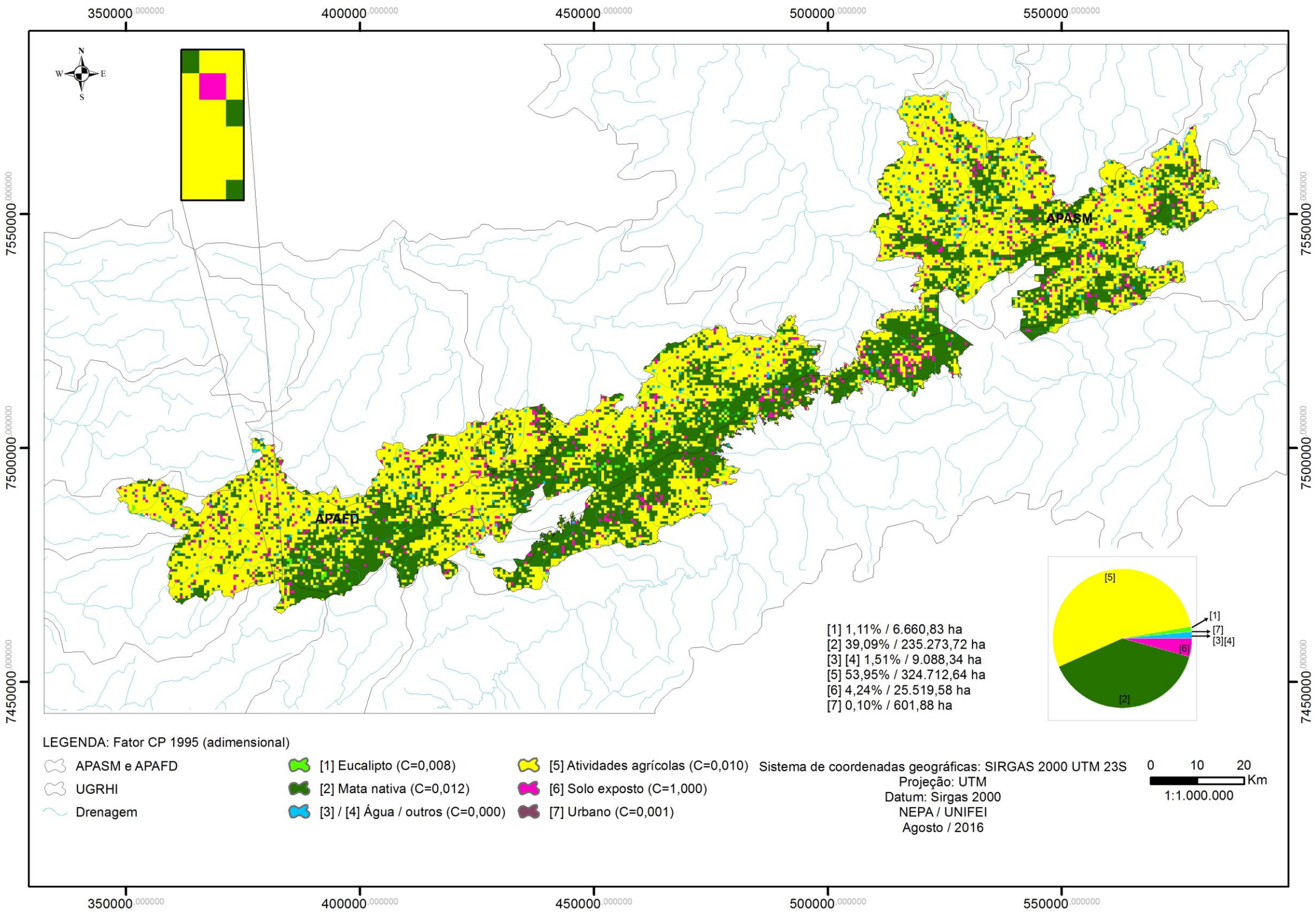
APÊNDICE VIII – Distribuição espacial do fator CP na APASM e na APAFD para o ano de 1985.



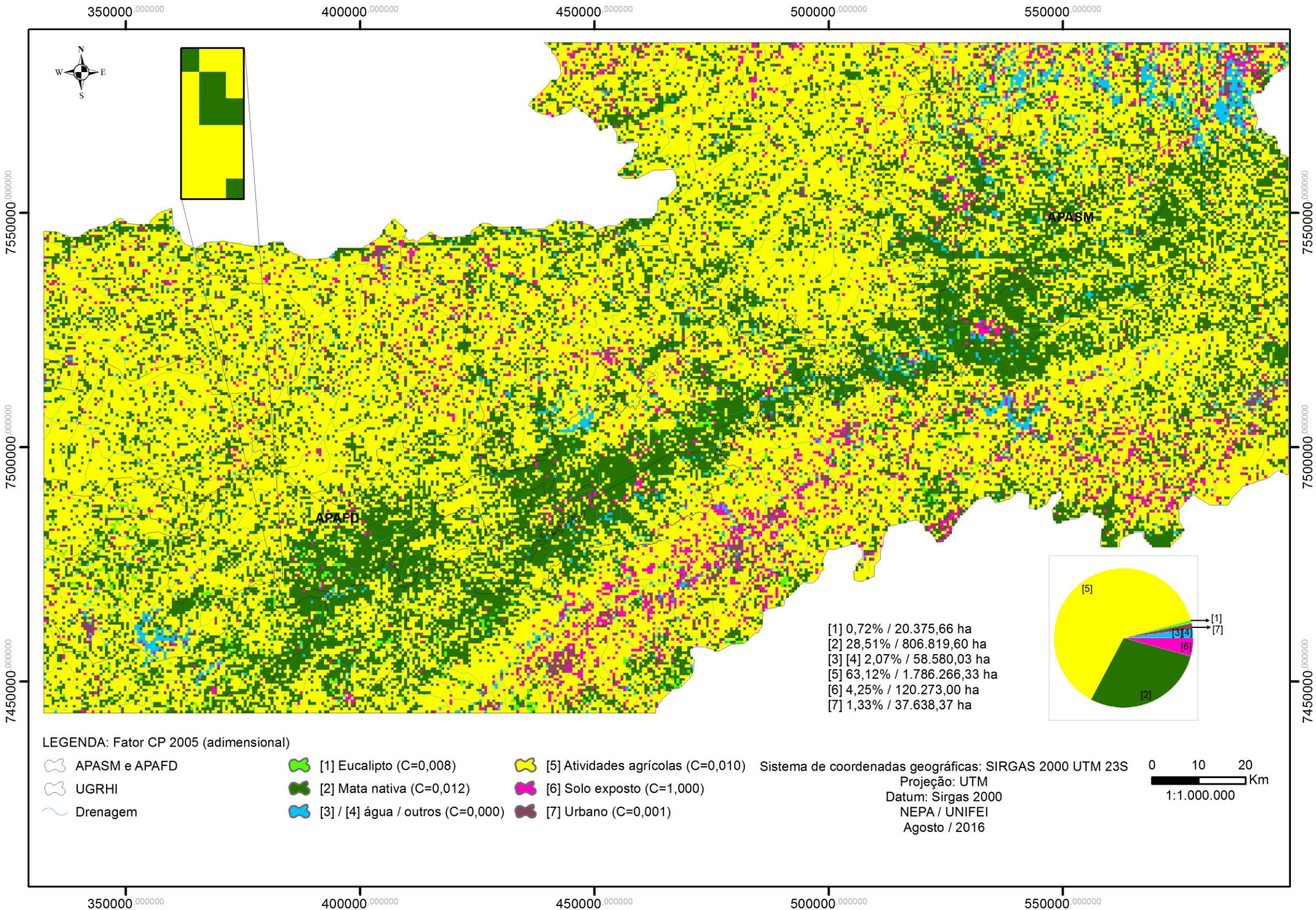
APÊNDICE IX – Distribuição espacial do fator CP na região de entorno das APA's para o ano de 1995.



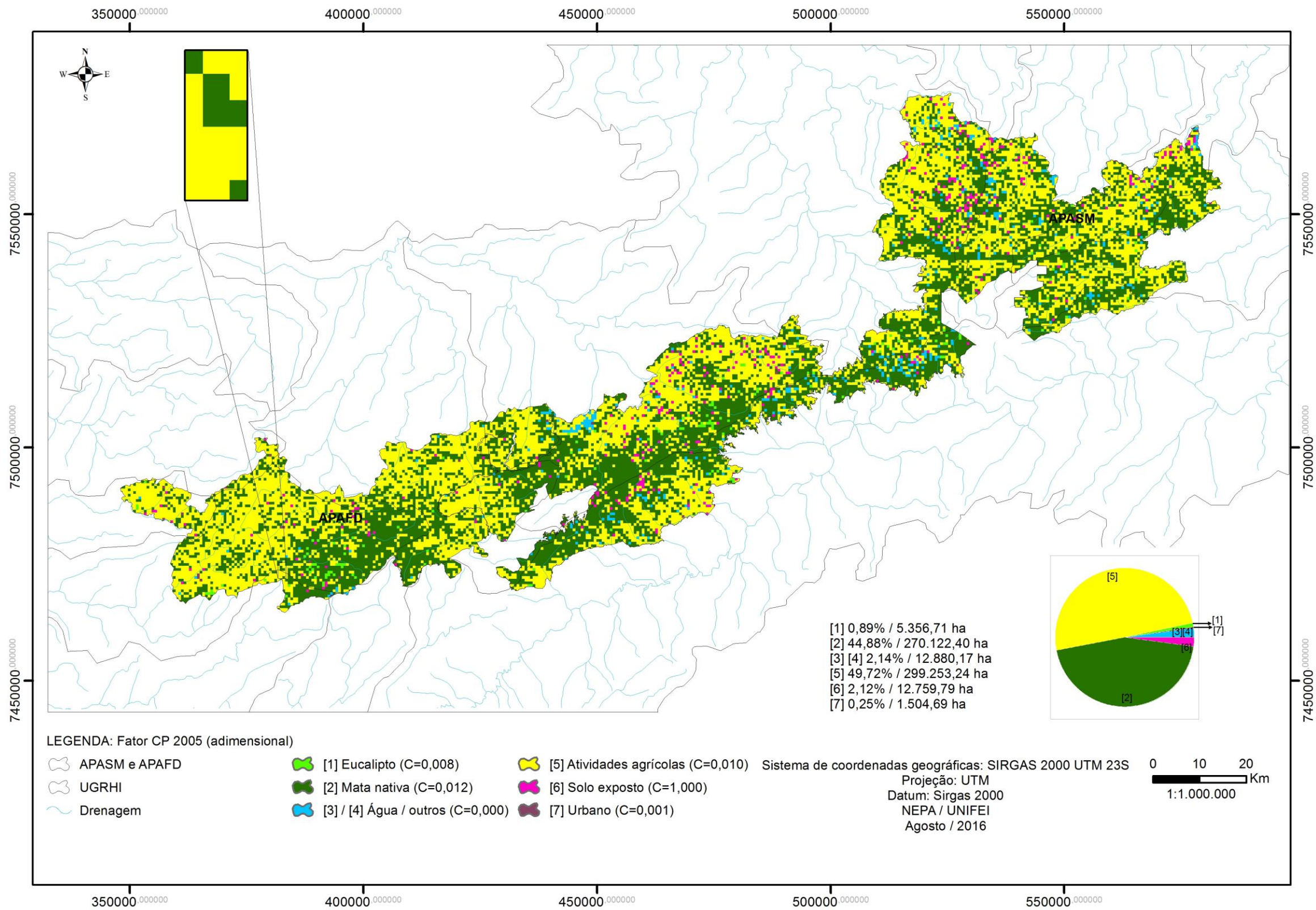
APÊNDICE X – Distribuição espacial do fator CP na APASM e na APAFD para o ano de 1995.



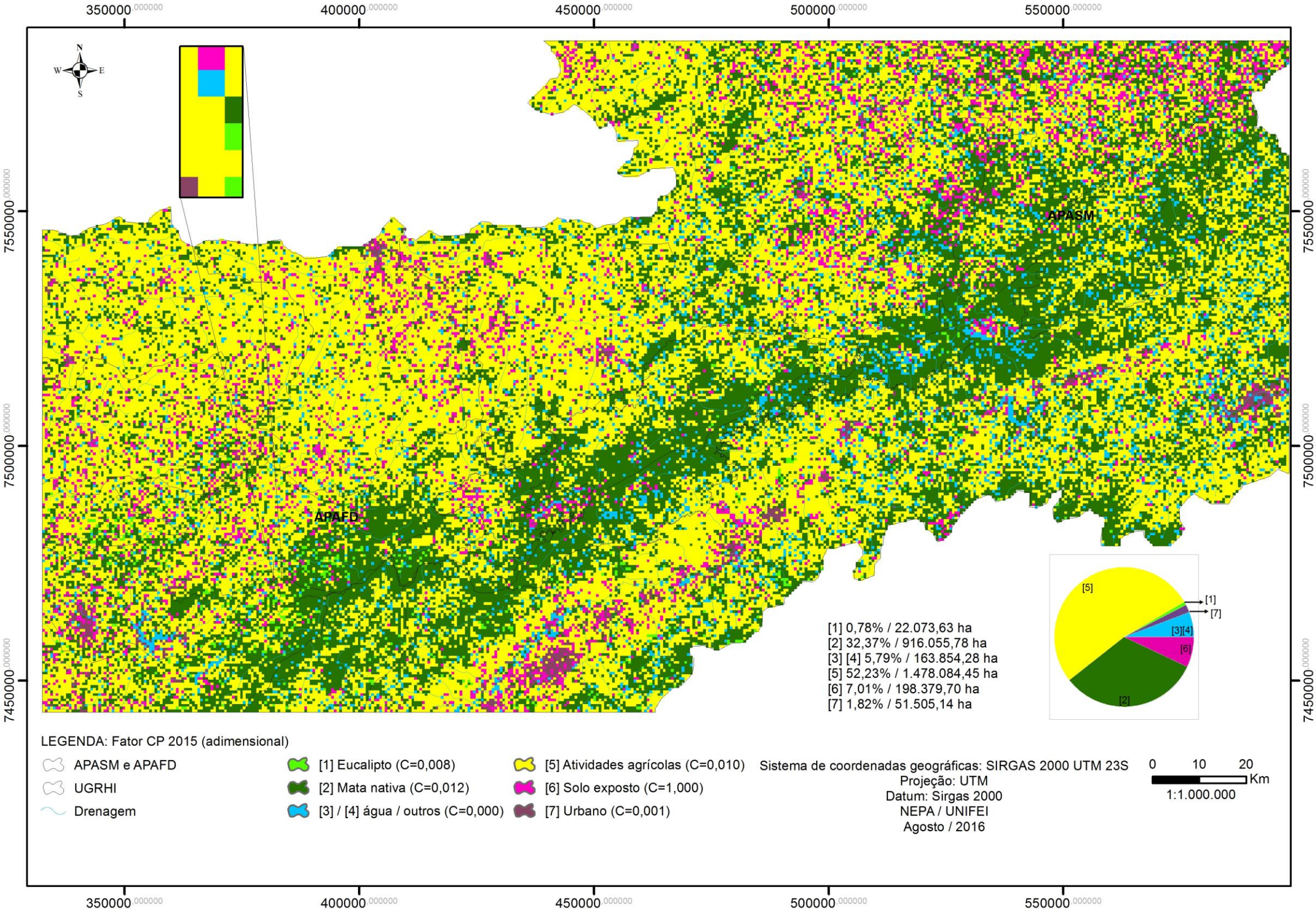
APÊNDICE XI – Distribuição espacial do fator CP na região de entorno das APA's para o ano de 2005.



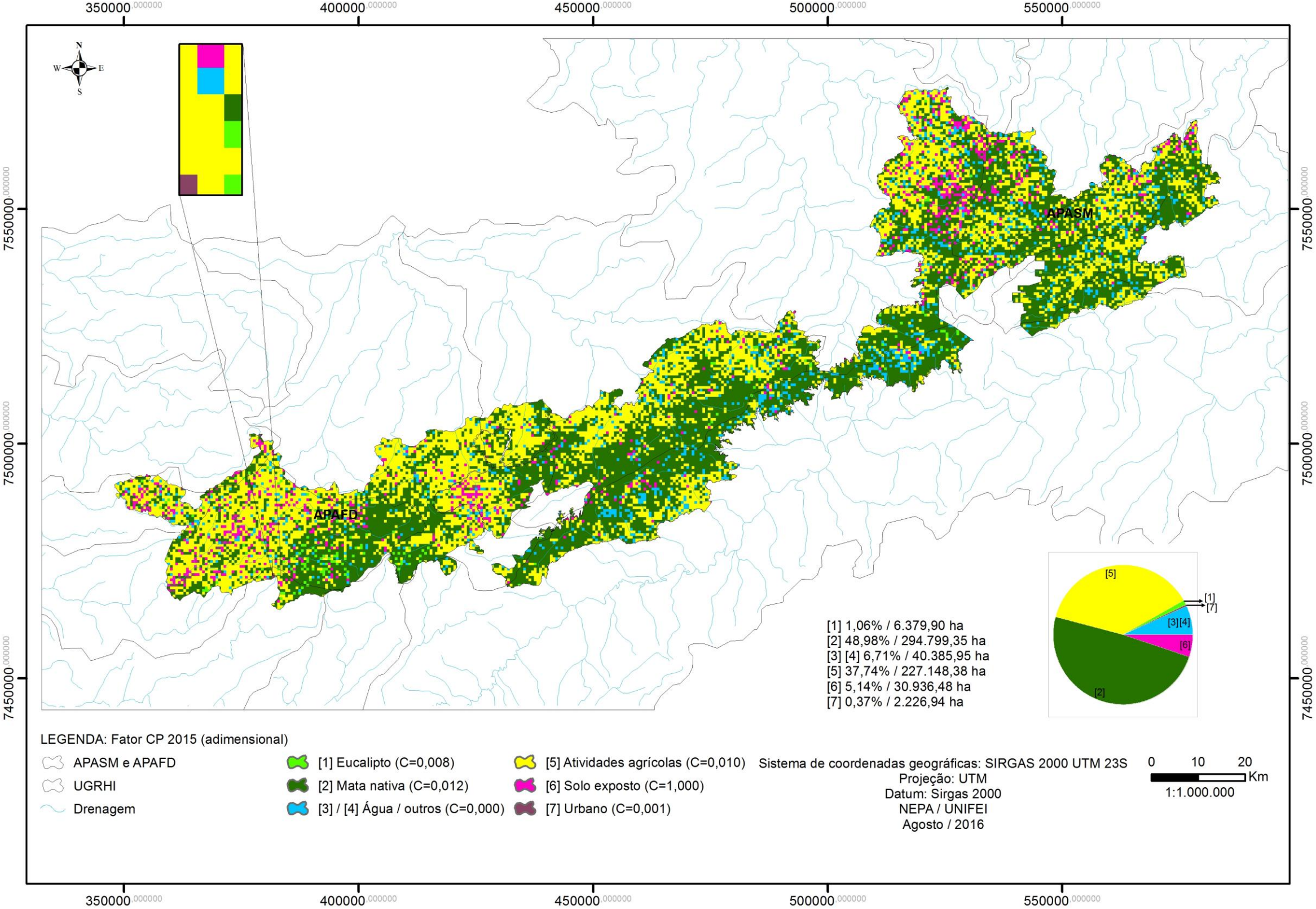
APÊNDICE XII – Distribuição espacial do fator CP na APASM e na APAFD para o ano de 2005.



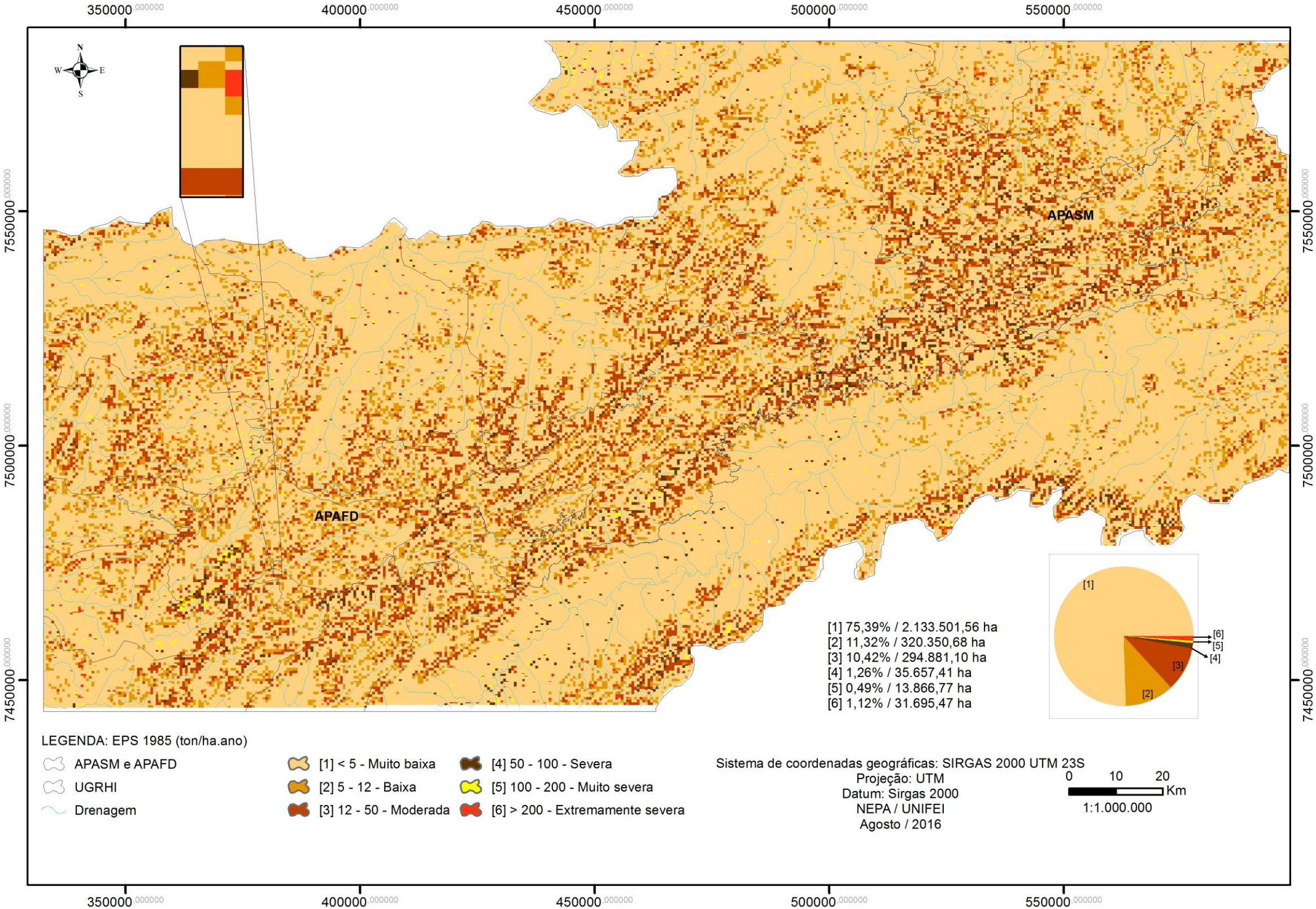
APÊNDICE XIII – Distribuição espacial do fator CP na região de entorno das APA's para o ano de 2015.



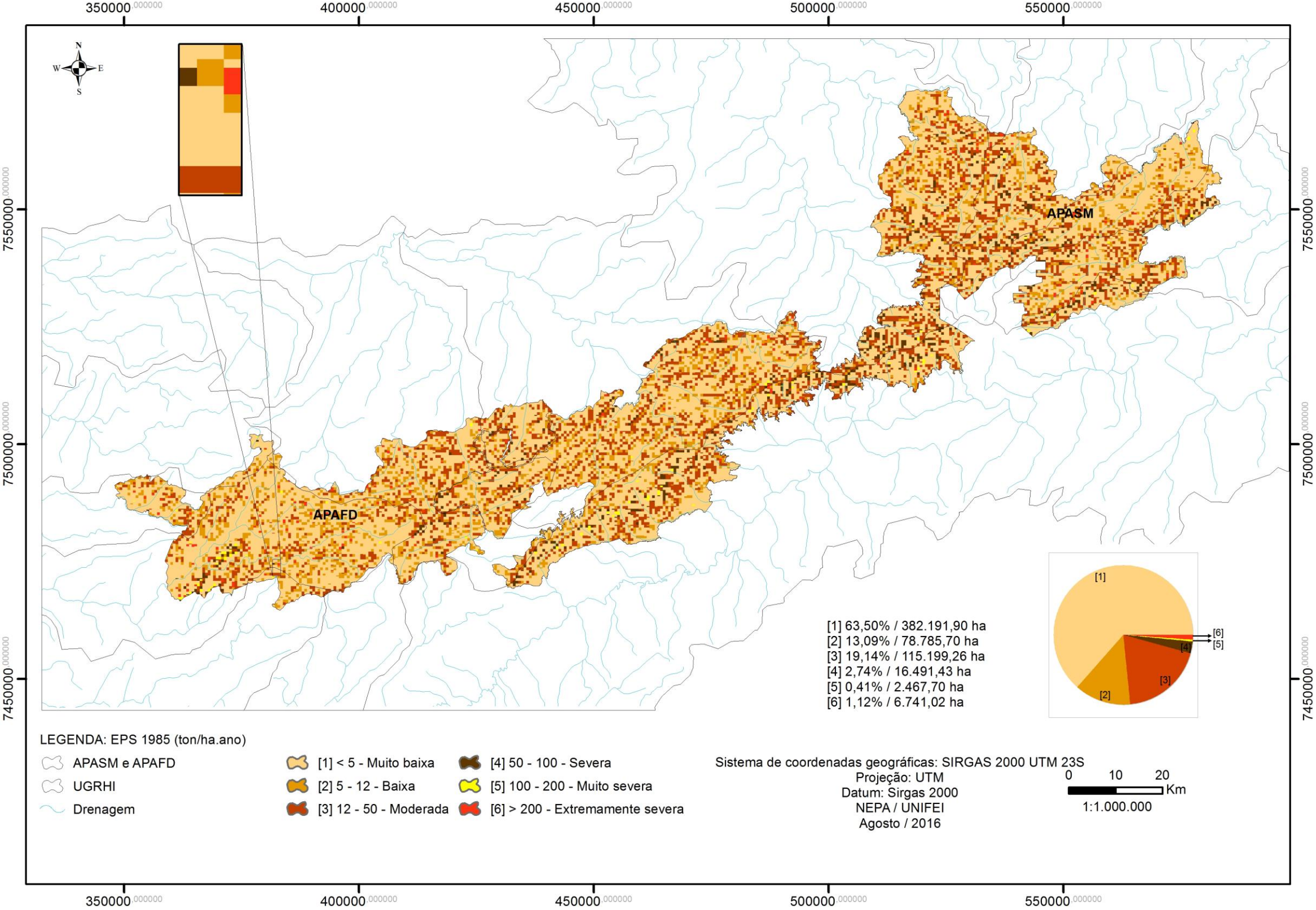
APÊNDICE XIV – Distribuição espacial do fator CP na APASM e na APAFD para o ano de 2015.



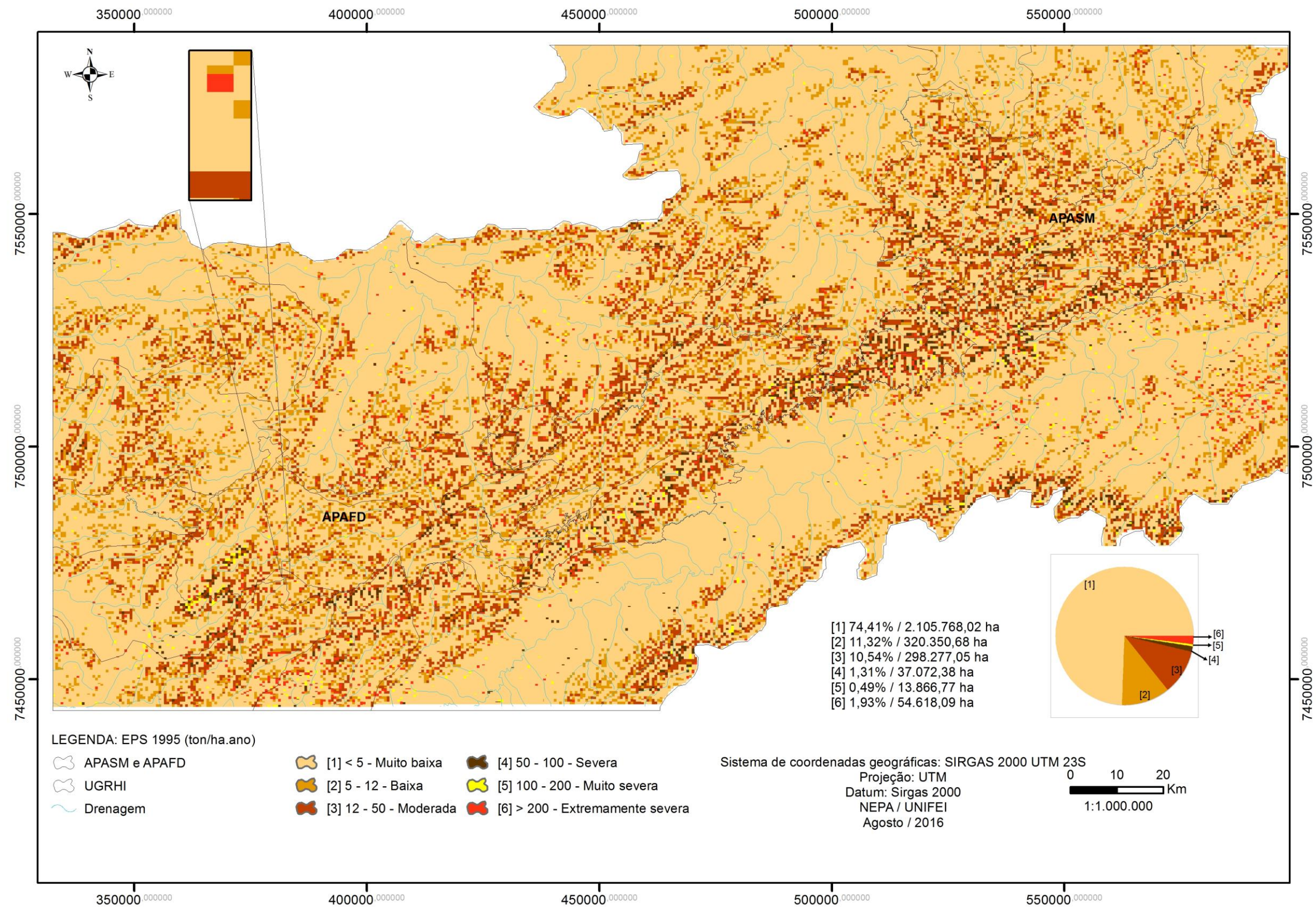
APÊNDICE XV – Distribuição espacial da EPS na região de entorno das APA's para o ano de 1985.



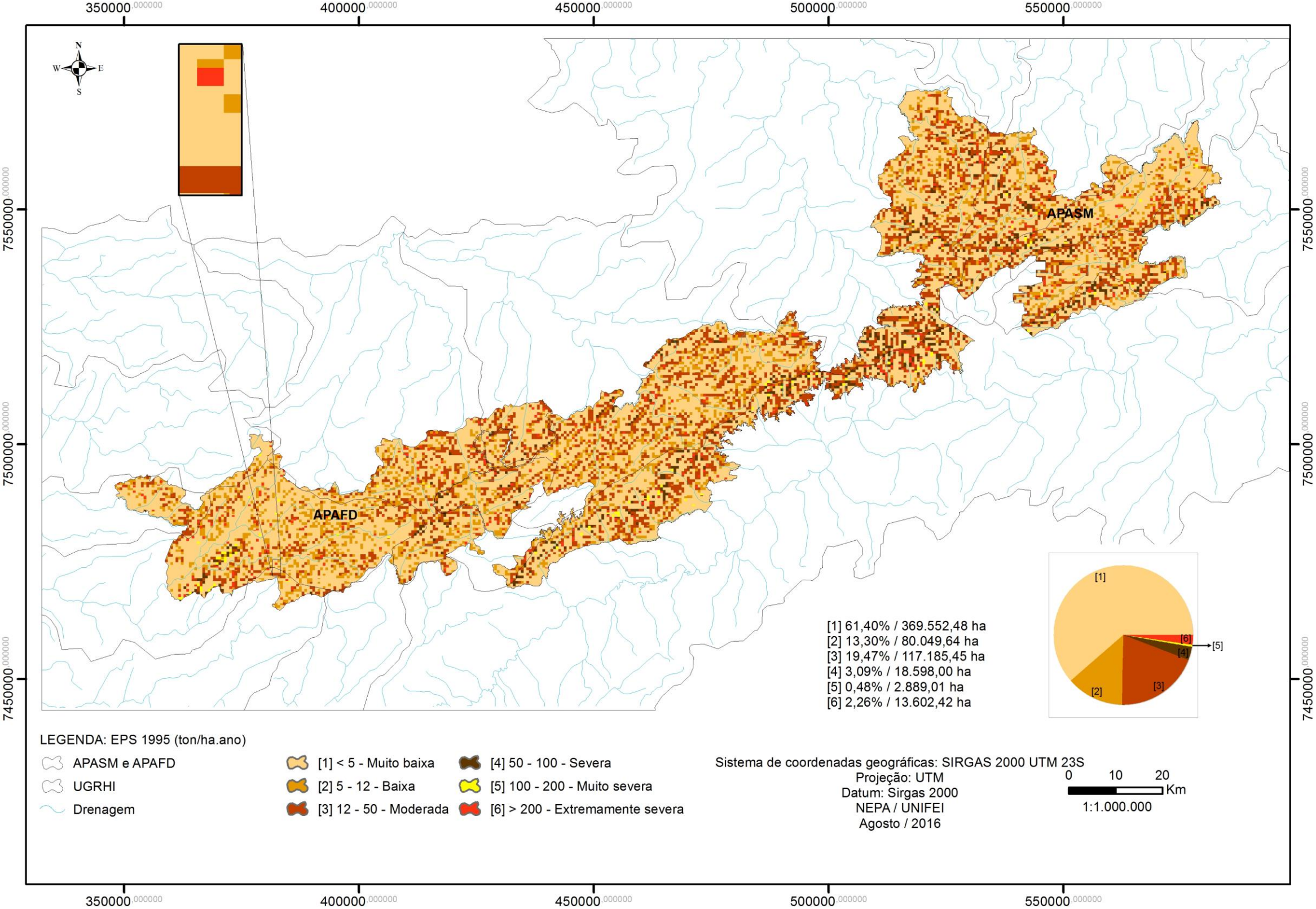
APÊNDICE XVI – Distribuição espacial da EPS na APASM e na APAFD para o ano de 1985.



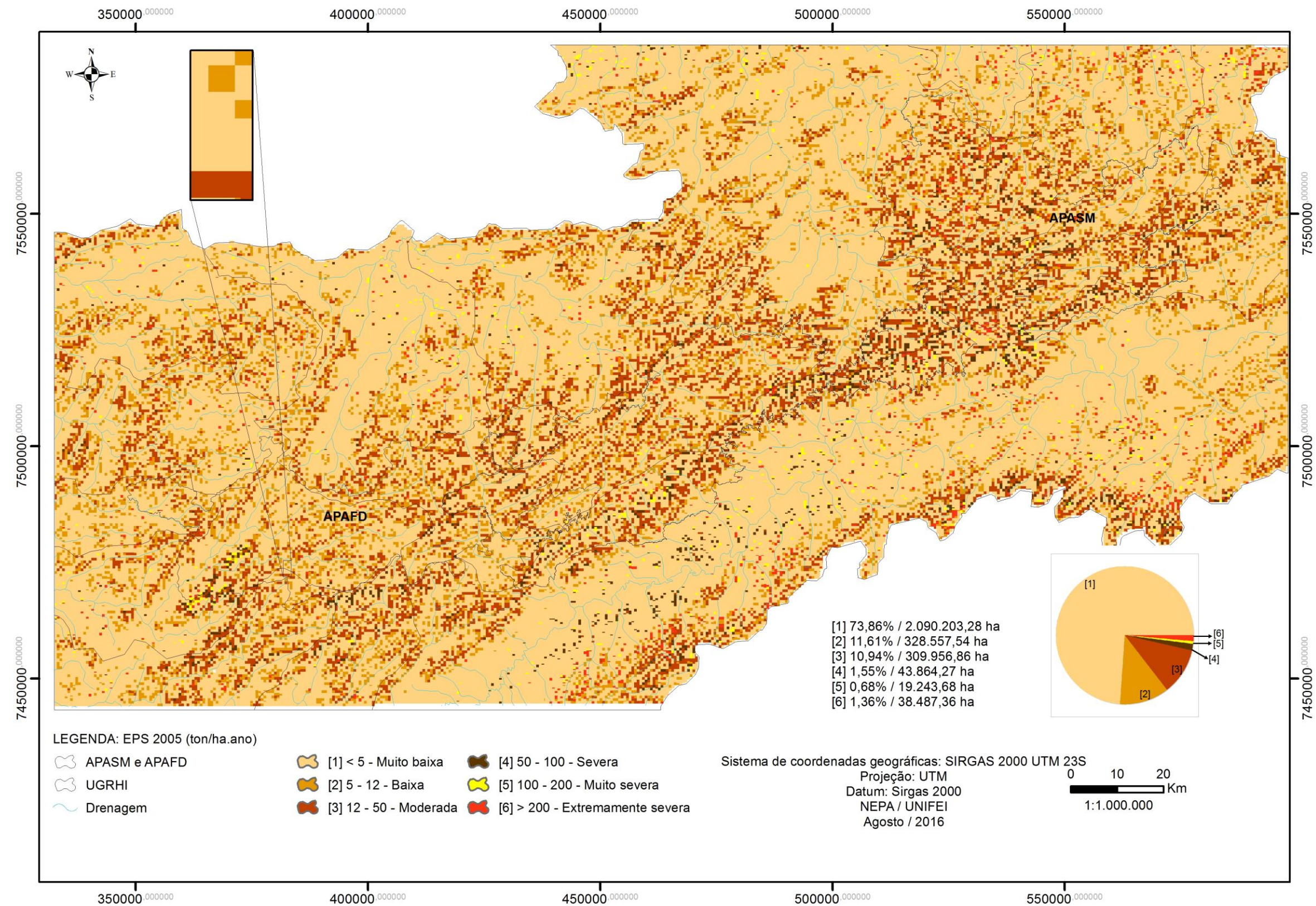
APÊNDICE XVII – Distribuição espacial da EPS na região de entorno das APA’s para o ano de 1995.



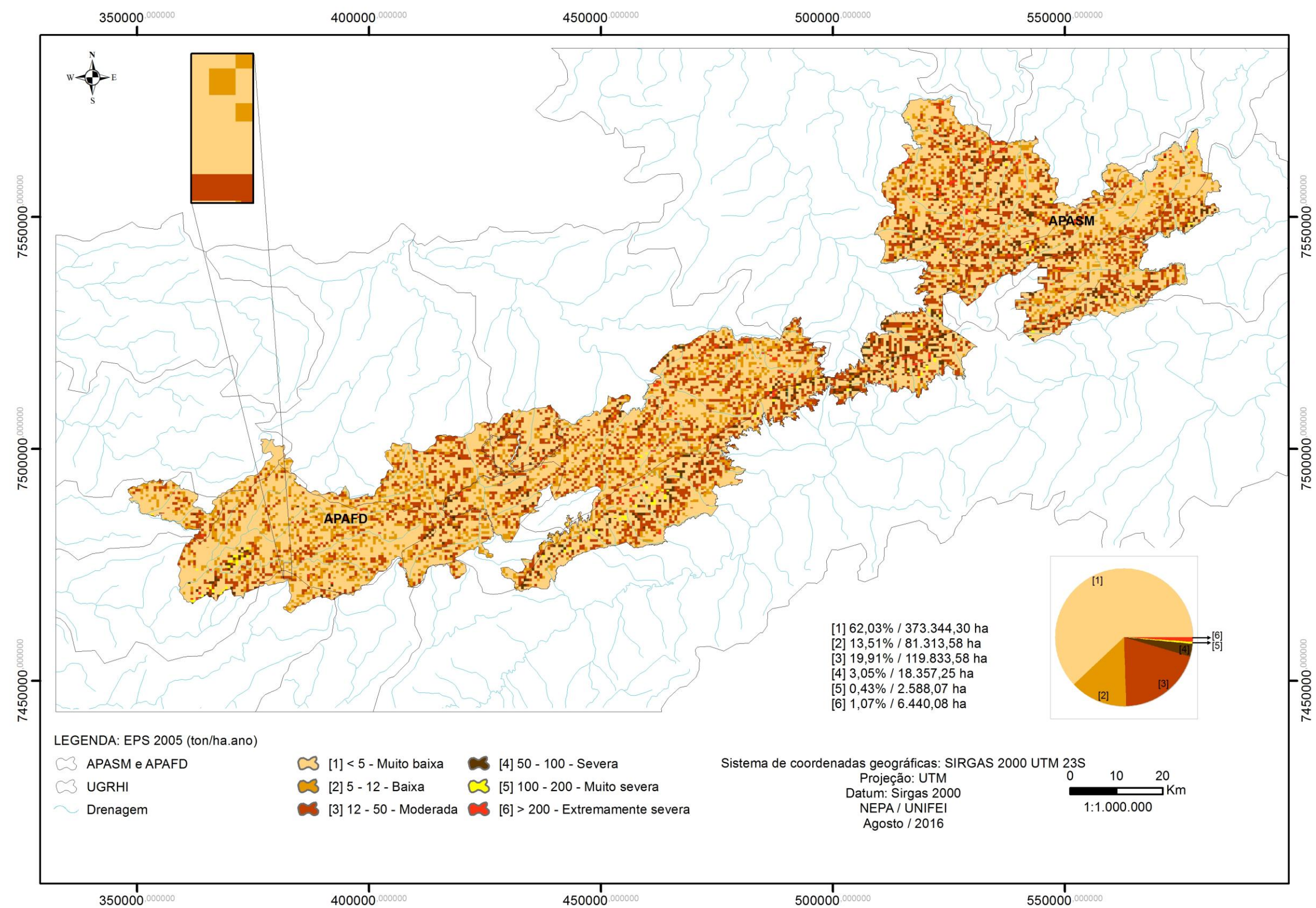
APÊNDICE XVIII – Distribuição espacial da EPS na APASM e na APAFD para o ano de 1995.



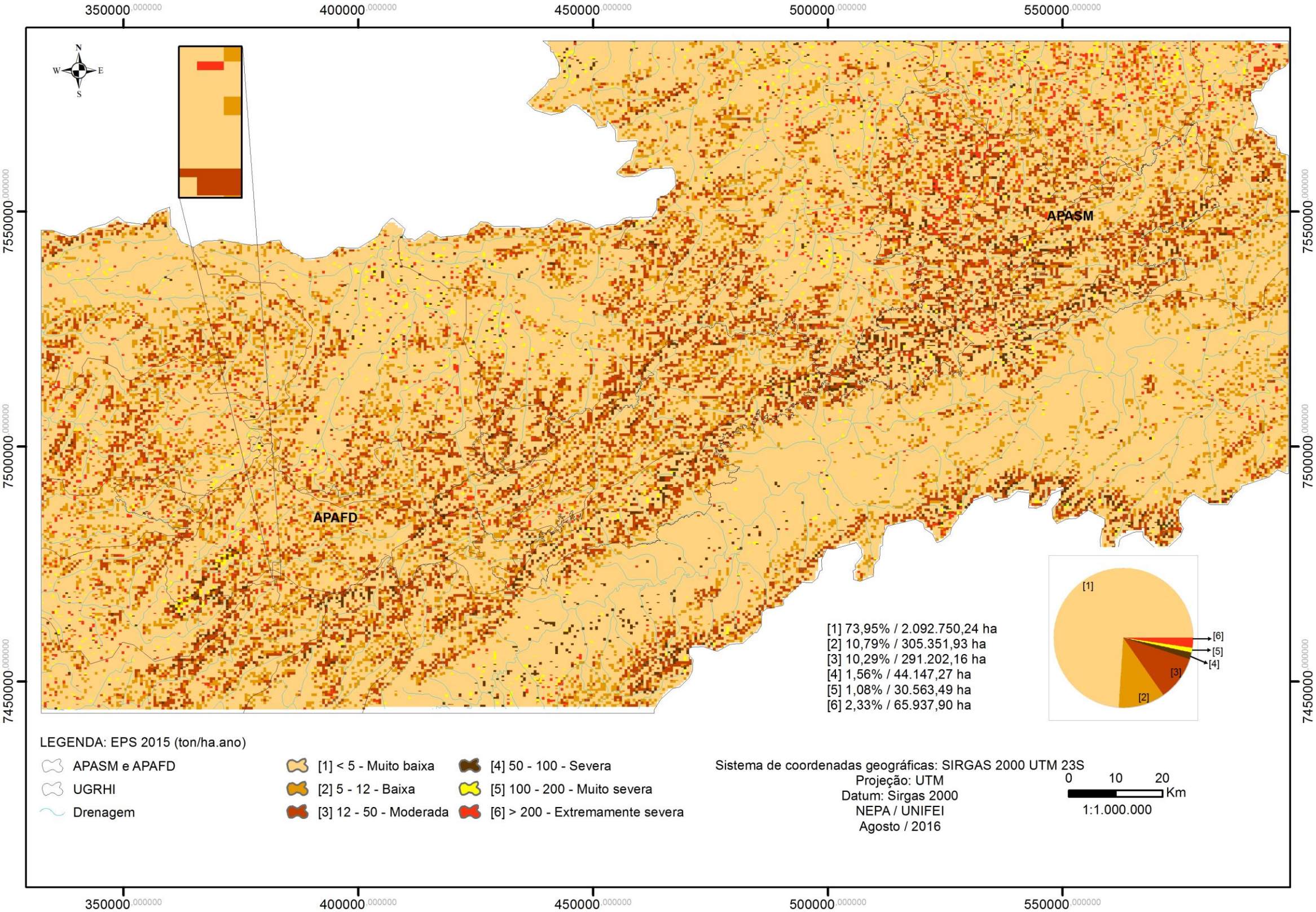
APÊNDICE XIX – Distribuição espacial da EPS na região de entorno das APA's para o ano de 2005.



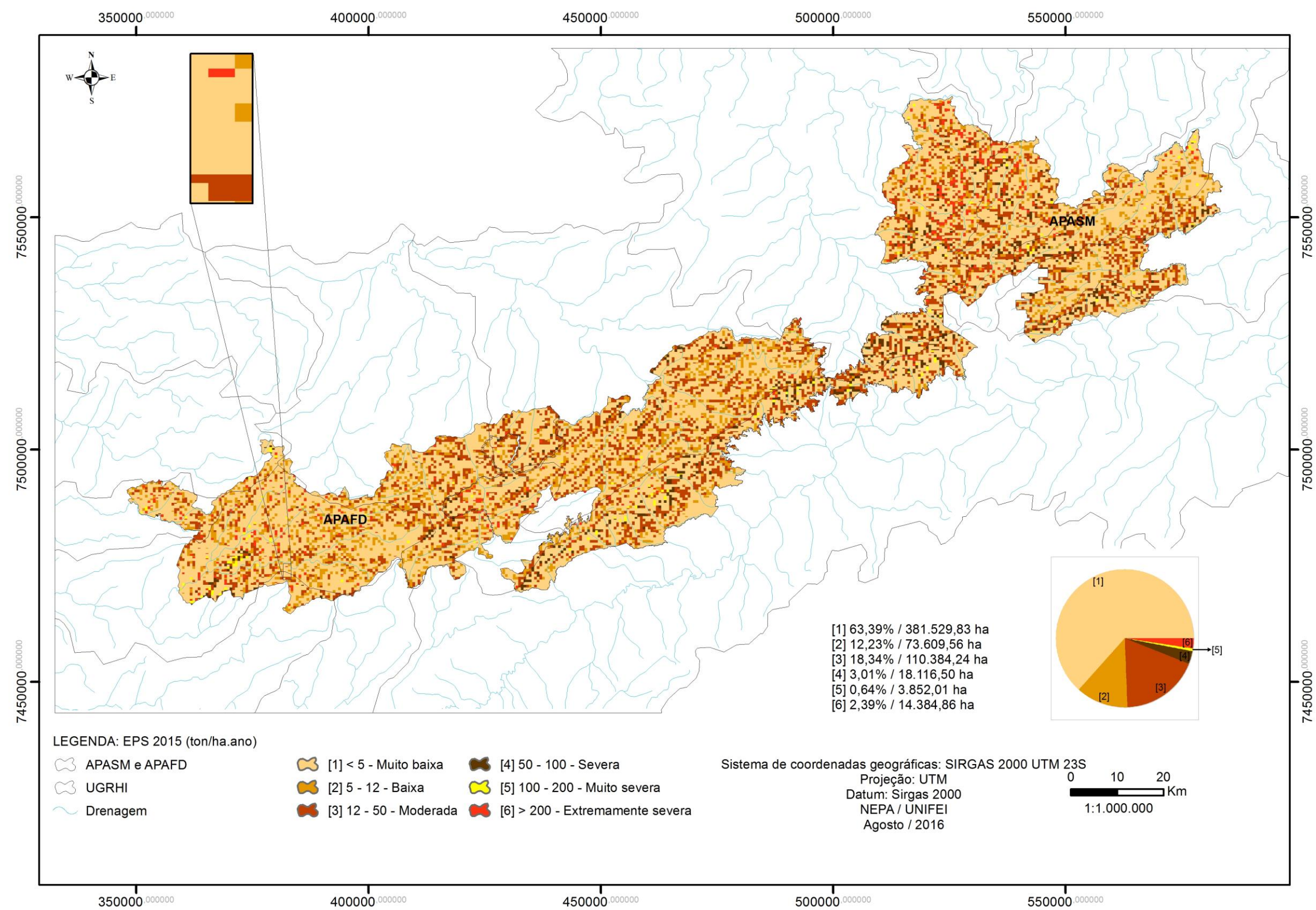
APÊNDICE XX– Distribuição espacial da EPS na APASM e na APAFD para o ano de 2005.



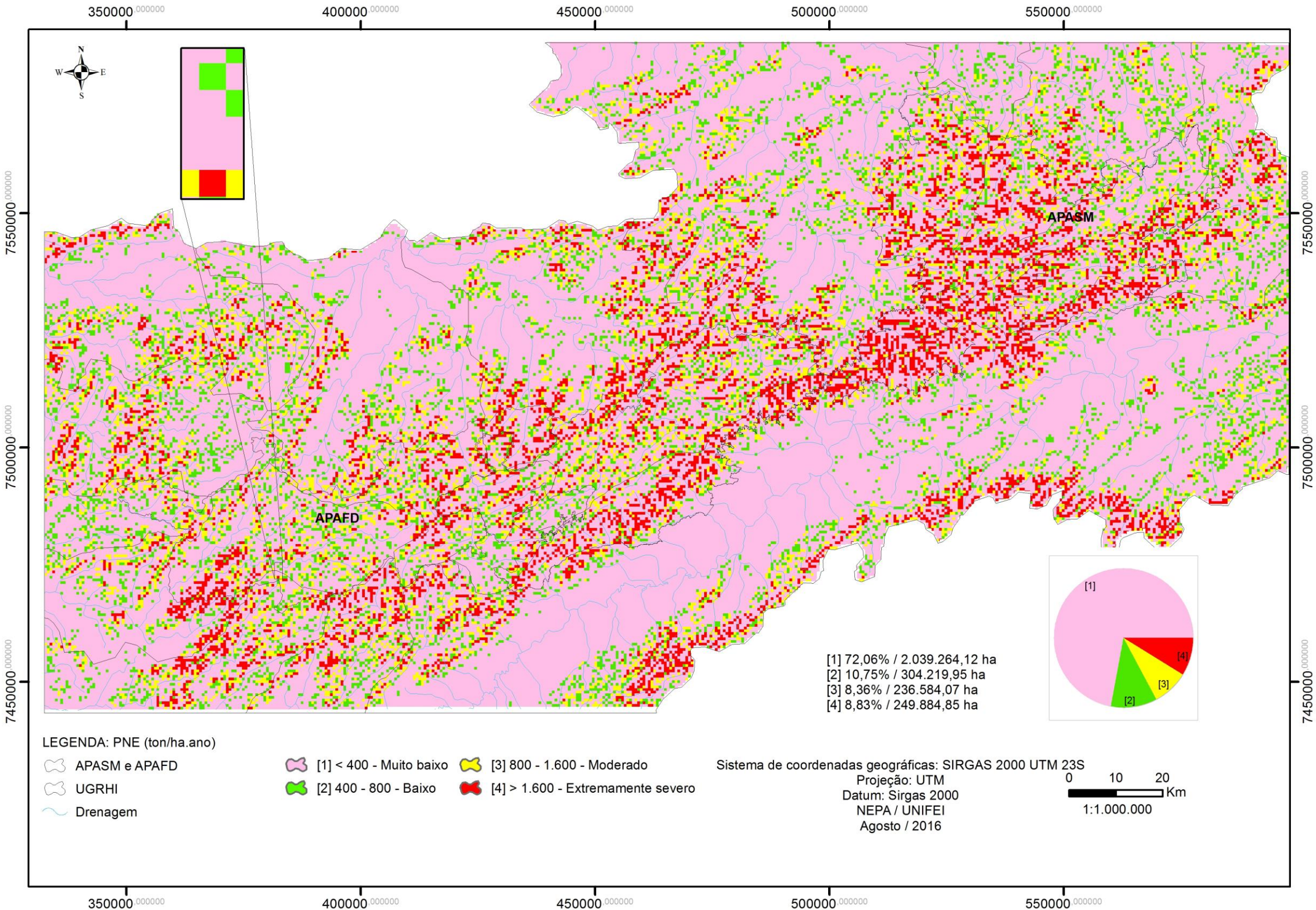
APÊNDICE XXI – Distribuição espacial da EPS na região de entorno das APA's para o ano de 2015.



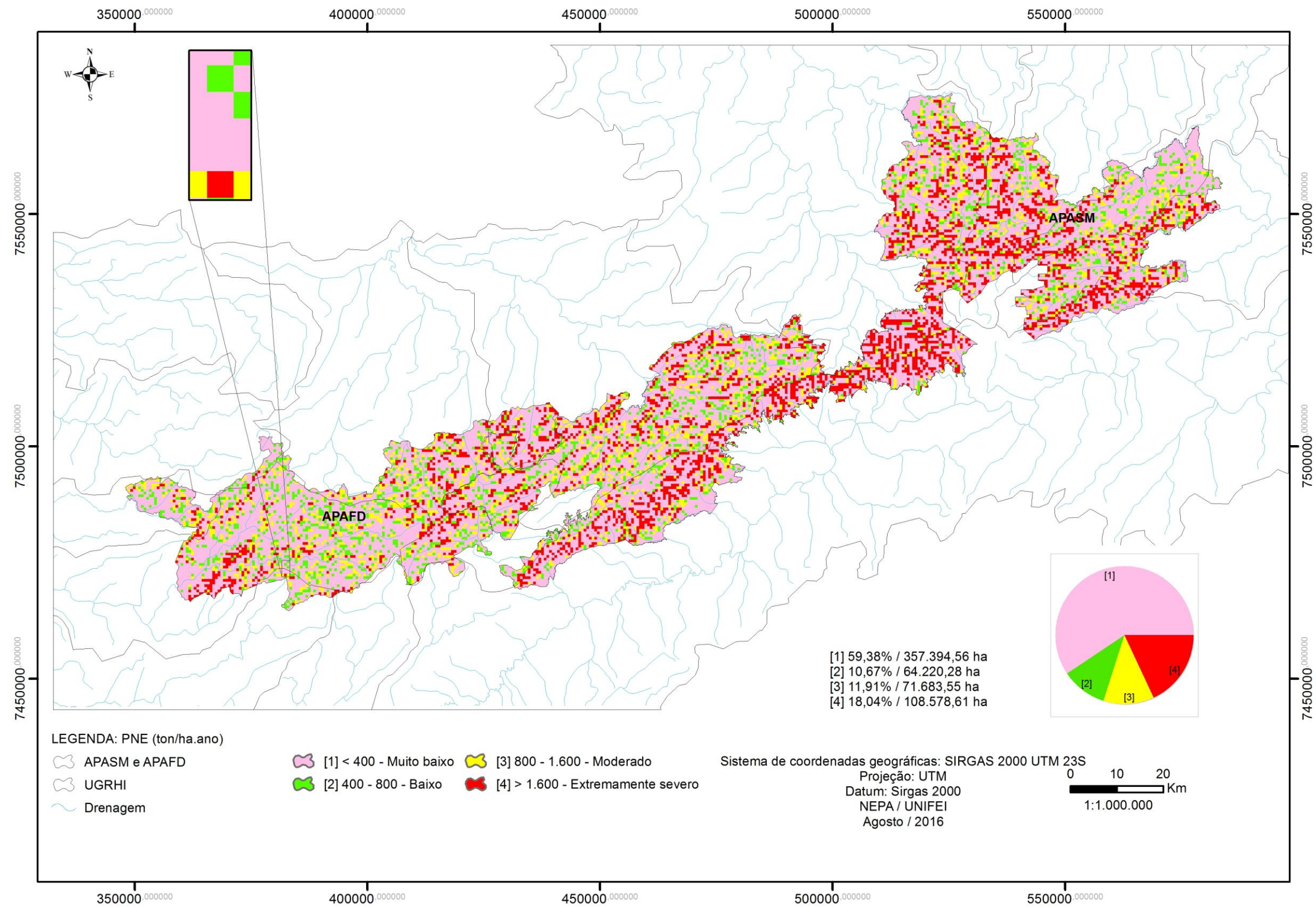
APÊNDICE XXII – Distribuição espacial da EPS na APASM e na APAFD para o ano de 2015.



APÊNDICE XXIII – Distribuição espacial do PNE na região de entorno das APA's.



APÊNDICE XXIV – Distribuição espacial do PNE na APASM e na APAFD.



ANEXO I - Histórico dos estudos já realizados desde 1997 na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, na APA Serra da Mantiqueira e APA Fernão Dias, com financiamento da FAPESP, CNPq e Fapemig.

() Artigos, relatórios de projetos, doutorados, dissertações, iniciações científicas com apoio da FAPESP, FAPEMIG, CNPq e CAPES na forma de bolsas e auxílio financeiro utilizando São Carlos (SP) e, atualmente, a serra da Mantiqueira como áreas de estudo e demais trabalhos.

- (1) até (12) Já concluídos até 2007 durante a vigência do projeto.
- (13) até (35) Já concluídos e em andamento após a vigência do projeto em 2007.
- (36) até (47) Já concluídos e em andamento - trabalhos correlatos fora da cidade de São Carlos.
- (48) até (54) Já concluídos e em andamento - trabalhos correlatos na Serra da Mantiqueira.

TRABALHOS CONCLUÍDOS DURANTE A VIGÊNCIA DO PROJETO – ATÉ 2007.

- (1) DUPAS, F. A. (2001). **Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais - Proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG: Estudo do caso de São Carlos, SP.** Relatório de pós-doutorado FAPESP, proc. n. 97/07066-2 e 97/07055-0. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. UFSCar, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Depto. de Eng. Civil, 63 pág.
- (2) TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; DUPAS, F. A.; SILVA-SOUZA, A. T.; SHIBATTA, O. A. (2007). **Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural.** Relatório final de projeto de pesquisa FAPESP de Políticas Públicas proc. 98/10924-3. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 95 pág.
- (3) SUB-PROJETO (2007). **Diagnóstico e prognóstico da qualidade da água dos rios que compõe as bacias hidrográficas do município de São Carlos (SP) relacionados**

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

com uso e ocupação do solo, Proc. 98/10924-3.

(4) SUB-PROJETO (2007). **Estudo do Índice de Integridade Biótica (IIB) da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão**, Proc. 98/10924-3. Relatório de Pós-doutoramento da SILVA-SOUZA, Ângela Teresa.

(5) SUB-PROJETO (2007). **Análise da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão**, Proc. 98/10924-3.

(6) MOLINA Jr., V. E. (2003). **Recursos Hídricos superficiais da área urbana e de expansão da cidade de São Carlos, SP - Estudo multitemporal**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:– processo n. 01/02562-9, 104 pág.

(7) POLI, M. N. (2004). **A geografia do espaço vivido: Análise do uso social do solo urbano - estudo de caso na cidade de São Carlos, SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:– processo n. 01/08369-6, 229 pág.

(8) DUPAS, F. A.; SILVA e SOUZA, A. T.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T.; ROHM, S. A. **Indicadores ambientais para planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C. S.(Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v., p. 491-506.

(9) SILVA e SOUZA, A. T.; SCHIBATTA, O. A.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T.; DUPAS, F. A. **Parasitas de peixes como indicadores de estresse ambiental e eutrofização**. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S.. (Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v. 1, p. 373-386.

(10) LUZ, S. R. **Análise da relação entre o uso de agrotóxicos, solo e água**. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(11) GANNAM, M. G. **Mapa de uso e ocupação do solo utilizando fotografias aéreas originadas de sensores e aeronave de baixo custo - estudo de caso da bacia do córrego Feijão em São Carlos, SP**. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

(12) ROSELLI, R. G. **Aplicação de metodologia para estudo da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí**. 2006. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

TRABALHOS CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO APÓS A VIGÊNCIA DO PROJETO – 2007.

(13) GUIMARÃES, M. W. O. (2008). **Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(14) AFONSO, G. F. (2008). **Integração de dados baseada em ontologia**. Dissertação de Mestrado em Computação. Dep. Computação, Universidade Federal de São Carlos.

(15) RODRIGUES, G. O. (2009). **Análise da acurácia temática de classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS- 2 E TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy**. Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(16) VIEIRA, A. M. (2009). **Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Córrego do Feijão, São Carlos, SP. Estruturação de banco de dados para ambiente de simulação**. Projeto de Iniciação Científica PROBIC – FAPEMIG, Núcleo. de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. 16 pág.

(17) PEREIRA, P. R. G. (2010). **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do nível de degradação ambiental na bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI.

(18) COSTA, C. W. (2010). **Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre mananciais de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI, Capes.

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

- (19) VIANA, E. H. (2010). **Estruturação de Banco de Dados Físicos, Químicos, Biológicos e Geográficos da Bacia do Córrego Feijão em São Carlos-SP**. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI.
- (20) OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da quantidade de sedimentos em bacia hidrográfica - Estudo do caso do caso do Ribeirão do Feijão em São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI.
- (21) MACHADO, F. H. (2011). **Valoração econômica dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI, Capes.
- (22) CAVALCANTE, T. D. M. (2013). **Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI.
- (23) CUNHA, R. C; DUPAS, F. A.; TUNDISI, J. G. **Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: estudo de caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. 2011. Revista Geociências (UNESP. Impresso), v. 30, p. 399-414, 2011.
- (24) YAGUINUMA, C. A., AFONSO, G. F., FERRAZ, V., BORGES, S., SANTOS, M. T. P. (2011). **A Fuzzy Ontology-Based Semantic Data Integration System**. Journal of Information & Knowledge Management, Vol. 10, No. 3, pg. 285-299. DOI: 10.1142/S0219649211002997.
- (25) LUZ, F. G. F. (2012). **Avaliação do potencial dos dados da SRTM – Shuttle Radar TopographyMission – por meio da análise da estimativa da perda de solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI., 86 p, Capes.
- (26) CUNHA, R. C. da (2012). **Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de
- SILVA, H. J.. **Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI, Capes.

(27) COSTA, C. W.; DUPAS, F.A.; PONS, N. A. D. **Regulamentos de uso e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP.** Geociências, v.31, n.2, p.143-157, 2012.

(28) COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; CESPEDDES, J. G.; SILVA, L. F. **Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP.** Geociências, v.32, n.1, p.63-80, 2013.

(29) MACHADO, F. H; SILVA, L. F.; DUPAS, F. A; MATTEDI, A. P; VERGARA, F. E. **Economic assessment of urban watersheds: developing mechanisms for environmental protection of the Feijão river**, São Carlos - SP, Brazil. Brazilian Journal of Biology. 74 (3), 2014.

(30) MACHADO, F. H.; MATTEDI; DUPAS, F. A.; SILVA, L. F.; VERGARA, F. E. **Estimating the opportunity costs of environmental conservation in the Feijão river watershed (São Carlos-SP, Brazil).** Brazilian Journal of Biology (no prelo), 2016.

(31) COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A. ; LORANDI, R.; OLIVEIRA, E. Z. (2015) **Follow-up of environmental impacts upon water sources of São Carlos, Brazil.** 14th Computers in urban planning and urban management, p. 156- 22, <http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/modeling/156_cost_a_h.pdf>

(32) COSTA, C. W. ; LORANDI, R.; DUPAS, F. A.. **Expansão urbana em áreas de mananciais e a legislação municipal: o caso de São Carlos, SP.** Congresso Novos Direitos Cidade em crise? (Congresso).

(33) COSTA, C. W.; LORANDI, R.; DUPAS, F. A. (2015). **Legislação municipal e a proteção das áreas de recarga em mananciais urbanos: São Carlos, SP.** Congresso Novos direitos Cidades em crise? (Congresso).

(34) NEVES, J. A.; MATOS, J. C. S.; LUZ, F. G. F.; DUPAS, F. A. (2015) **Recuperação de áreas de preservação permanente com sistema agroflorestal.** Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. (Congresso).

(35) NEVES, J. A. **Estudo de compensação ambiental na bacia hidrográfica Ribeirão do Feijão, SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, IRN/UNIFEI, Capes.

TRABALHOS CORRELATOS FORA DA CIDADE DE SÃO CARLOS – CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO

- (36) OLIVEIRA, T. F. **Análise preliminar da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí, MG.** 2003. 37 f. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (37) COSTA, I. G. D. D. (2006). **Análise da perda de solo através de SIG e sensoriamento remoto. Estudo do caso de Santa Rita do Sapucaí, MG.** Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Trabalho de Conclusão de Curso, Fapemig - UNIFEI.
- (38) DUPAS, F. A. (2009). **Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí, MG.** Relatório final de projeto CNPq n. 060/2005 proc. n. 501840/2005-2. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática NEPA – IRN/UNIFEI, maio, Volumes I de II, 243 pg.
- (39) HONÓRIO, D. H. **Utilização da ferramenta Idrisi Taiga - módulo ETM na análise espacializada de tendências climáticas no Brasil.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI.
- (40) PEREIRA, J. C. (2010). **Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, MG.** Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 116 pág.
- (41) PAES, F. S. (2010). **Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão.** Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI, 60 pág.
- (42) SPERANDELLI, D. I. (2010). **Dinâmica e análise do crescimento, dos vazios e das áreas verdes urbanas de Atibaia, SP.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI.

SILVA, H. J.. **Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira.** Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

- (43) PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F.; PEREIRA, J. C. D. **.Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG)**. Geociências (UNESP. Impresso), v. 29, p. 537-549, 2010.
- (44) ABE, C. A. (2014) **Características do uso do solo de entorno e suas implicações em Unidade de Conservação. Estudo do Parque Nacional do Itatiaia, RJ**. Iniciação Científica. (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Itajubá, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- (45) TEIXEIRA, D. R. **Análise comparativa dos instrumentos de gestão em unidades de conservação visando à gestão socioambiental no Cone Sul. Início: 2012**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Co-orientador). (em andamento).
- (46) GARGALHIONI, Saulo Roberly; DUPAS, F. A.; RODRIGUEZ-ARDILA, A.. **Previsão dos impactos causados por poluição luminosa com ênfase sobre sítios de observação astronômica e síntese da proposta de legislação nacional**. HOLOS Environment (Online), v. 12, p. 27-40, 2012.
- (47) SPERANDELLI, D. I.; DUPAS, F. A. ; PONS, N. A. D.. **Dynamics of urban sprawl, vacant land, and green spaces on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil**. Journal of Urban Planning and Development, 139(4): 274-279, 2013.

TRABALHOS CORRELATOS NA SERRA DA MANTIQUEIRA E ENTORNO – CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO

- (48) ABE, C. A. (2014). **Comparação entre estimativa de perda de solo pela EUPS e a partir de medidas de turbidez em córregos de bacias hidrográficas na APA da Mantiqueira e proximidades**. Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Itajubá, CNPq.
- (49) BRANDÃO SILVA, L. K. **Desenvolvimento de ferramenta para otimização de estudos ambientais**. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Fapemig. (Em andamento).
- (50) COELHO, D. S. **Estudo das mudanças do uso e cobertura da terra em áreas**
SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.

protegidas da Serra da Mantiqueira e entorno no período de 1985 a 2015. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(51) DA SILVA, H. J. **Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(52) DE SOUZA, F. L. **Análise e proposta de legislação para pagamento por serviços ambientais ou ecossistêmicos.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(53) SIQUEIRA, F. B. **Análise comparativa dos instrumentos de gestão de áreas protegidas do Brasil e da Austrália.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(54) CUNHA, R. C. **Proposta metodológica para viabilização de pagamentos de serviços ambientais em bacias hidrográficas com empreendimentos hidroenergéticos: Estudo de caso da PCH Santana.** Início: 2015. Dissertação (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de São Carlos. (Em andamento).

ANEXO II – Informações complementares a cerca do LANDSAT

ANO	SATÉLITE	SENSOR	ÓRBITA/PONTO	MÊS
1985	LANDSAT5	TM	218/075	Maio
			218/076	Julho
			219/075	Julho
			219/076	Agosto
1995	LANDSAT5	TM	218/075	Agosto
			218/076	Agosto
			219/075	Agosto
			219/076	Agosto
2005	LANDSAT5	TM	218/075	Abril
			218/076	Agosto
			219/075	Julho
			219/076	Agosto
2015	LANDSAT8	OLI	218/075	Abril
			218/076	Maio
			219/075	Agosto
			219/076	Maio

SILVA, H. J.. Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, MG, 2016.