

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

ANNA PAULA LAGE RIBEIRO

**APERFEIÇOAMENTO DO EMPREGO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE
SOLO NA APLICAÇÃO DO PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS DA
POLÍTICA ESPÍRITO-SANTENSE DE RECURSOS HÍDRICOS**

**VITÓRIA
2012**

ANNA PAULA LAGE RIBEIRO

**APERFEIÇOAMENTO DO EMPREGO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE
SOLO NA APLICAÇÃO DO PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS DA
POLÍTICA ESPÍRITO-SANTENSE DE RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira

**VITÓRIA
2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

- R484a Ribeiro, Anna Paula Lage, 1988-
 Aperfeiçoamento do emprego da equação universal de perda de
 solo na aplicação do pagamento por serviços ambientais da política
 espírito-santense de recursos hídricos / Anna Paula Lage Ribeiro. –
 2012.
 165 f. : il.
- Orientador: Edmilson Costa Teixeira.
 Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade
 Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.
1. Recursos Hídricos. 2. Bacias hidrográficas. 3. Desenvolvimento
 sustentável. 4. Solos - Erosão. 5. Geoprocessamento. I. Teixeira,
 Edmilson Costa. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
 Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

ANNA PAULA LAGE RIBEIRO

**APERFEIÇOAMENTO DO EMPREGO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE
SOLO NA APLICAÇÃO DO PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS DA
POLÍTICA ESPÍRITO-SANTENSE DE RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 31 de agosto de 2012.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Daniel Rigo
Universidade Federal do Espírito Santo
Avaliador Interno

Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti
Universidade de São Paulo
Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, George e Marcia, que a base da minha existência, meu porto seguro, obrigada pelo amor incondicional e pelo incentivo a sempre buscar meus sonhos.

À minha irmã, Adriana, e a minha grande amiga Lara, pela ajuda e companheirismo nos bons e maus momentos ao longo desta caminhada.

À toda minha família, que mesmo na incompreensão da minha ausência em alguns momentos, soube valorizar meus sacrifícios, orar por mim e comemorar minhas alegrias.

Aos amigos do coração que compartilharam as emoções desta caminhada comigo.

Ao Prof. Edmilson pela orientação, incentivo, confiança e amizade durante esta trajetória.

Ao Diogo que me acompanhou desde o início da pesquisa e cuja contribuição foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Daniel Rigo e Marcos Vinicius Folegatti pelas contribuições a este trabalho.

Aos companheiros e amigos do laboratório LabGest/UFES, Danieli, Karla, Cristina, Cintia, Beatriz, Andressa, Taísa, Lorena, Gisele, Gustavo, Gabriel, Mauricio, Paulo César, Fábio, Erick e Sirlei pelas conversas sempre estimulantes, pelo apoio nos momentos de desespero e cansaço. Em especial, agradeço a Sara e ao Gemael que me ajudaram nas etapas de campo da pesquisa.

À equipe do Produtores de Água do IEMA, sempre tão prestativos e dispostos a me auxiliar, em especial ao José de Aquino Machado, e também a Katia Loyola e Juliana Rocha.

Aos parceiros do Produtores de Água que me receberam e acompanharam durante as vistas as propriedades. E aos agricultores que tão pacientemente me receberam em suas propriedades e me orientaram com o mapeamento.

Ao PPGEA/UFES, em especial a Rose Leão por toda atenção e prestatividade.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

O mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais é um instrumento de gestão da Política de Recursos Hídricos do estado do Espírito Santo, que tem o projeto Produtores de Água como parte integrante. Este projeto baseia-se na conservação do solo para melhoria/conservação da qualidade das águas dos cursos d'água e, para tanto, oferece uma compensação financeira àqueles que preservam ou reconstituem a vegetação das matas ciliares de estratégicas bacias hidrográficas do estado. A formulação deste projeto baseia-se, de forma simplificada, metodologicamente, em alguns fatores componentes da EUPS como parâmetros técnicos para determinação dos coeficientes de valoração. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo propor o aperfeiçoamento metodológico do emprego da EUPS no desenvolvimento do citado projeto. Para isso, os seguintes aspectos foram considerados e avaliados: utilização de ferramentas de geoprocessamento – não utilizada pela metodologia atual; formulações para cálculo do fator topográfico LS mais condizentes com a realidade – a metodologia vigente adota apenas três valores médios para a declividade S (32,5%, 60,0% e 87,5%), desconsidera valores de declividade inferiores a 20% e toma L como constante e igual a 100 metros; adoção de valores para o fator CP relativos a uso e manejo conservacionistas do solo – a versão metodológica em vigor volta-se apenas para a conservação de florestas; e emprego do produto RK como fator de relativização espacial do esforço potencial para a redução de perda de solo na propriedade – a metodologia vigente não analisa esse produto. No desenvolvimento do estudo foram utilizadas as três bacias hidrográficas em que o projeto Produtores de Água foi aplicado em sua fase experimental e 30 propriedades selecionadas das 197 que formaram o banco de dados do projeto em maio de 2011. Entre os resultados do estudo comparativo envolvendo a metodologia atual do projeto e metodologias visando seu aperfeiçoamento, têm-se: que há bastante diferença entre as duas técnicas abordadas de LS (calculado pela metodologia atual poderá ter seu valor subdimensionado ou superdimensionado se, respectivamente, o relevo for íngreme/plano) e, tomando a metodologia proposta como mais adequada, evidenciou-se o seu uso; o fator CP, quando da alteração do tipo de uso do solo mostrou-se bastante eficaz para reduzir a perda de solo potencial, entretanto, não foi sensível a análise desta característica no processo de evolução entre os estágios de regeneração florestal (capoeira, macega e vegetação secundária avançada/mata nativa); e o fator RK ressaltou que o distanciamento entre as propriedades impacta diretamente em sua variação, mostrando-se uma ferramenta importante de relativização espacial. No mais, foram propostas diretrizes para viabilizar a aplicação destes resultados em iniciativas de PSA, principalmente, no projeto Produtores de Água.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos; Pagamento por Serviços Ambientais; Produtores de Água; Erosão Hídrica e Perda de Solo; Geoprocessamento.

ABSTRACT

The mechanism of Payment for Environmental Services is a management tool in water resources policy of the state of Espírito Santo, which has the project “Produtores de Água” as part of this. This project is based on soil conservation for improvement/maintenance of water quality of streams and, therefore, offers financial compensation to those that preserve or reconstruct the vegetation of the riparian forest of strategic watersheds in the state. The formulation of this project is based, in simplified form, methodologically, in some components of the USLE factors as technical parameters for determining the coefficients of valuation. Accordingly to these factors, this paper aims to propose a methodological improvement of the use of USLE in the development of that project. For this, the following aspects were considered and evaluated: use of GIS tools - not used by the current methodology, formulas for calculating the topographic factor LS more consistent with reality - the current methodology takes only three average values for the slope S (32.5%, 60.0% and 87.5%), ignores values less than 20% slope and take L to be constant and equal to 100 meters; adoption of CP values for the factor relating to the use and conservation management of soil - the version methodological back in force only for the conservation of forests, and RK use of the product as a factor of relativity space effort to reduce potential soil loss on the property - the current methodology does not review this product. In developing of this study, we used the three watersheds in what the project “Produtores de Água” was applied in its experimental phase and 30 of the 197 selected properties that formed the database of the project in may 2011. Among the results of a comparative study involving the current methodology of the project and methodologies aimed at improving it, follows that: that there is enough difference between the two techniques discussed in the LS (calculated using the current methodology may have its value be undersized or oversized, respectively, topography is steep / flat), and taking the proposed methodology as more appropriate, there was its use, the CP factor when changing the type of land use proved to be very effective in reducing soil loss potential, however, was not sensitive analysis of this feature in the evolution process between stages of forest, and factor RK noted that the distance between the properties directly impacts on their variation, being an important tool of relativity space. Other than that, guidelines were proposed to enable the implementation of these initiatives results in PES, especially in the design of “Produtores de Água”.

Keywords: Water Resources Management, Payment for Environmental Services, “Produtores de Água”; Erosion Water and Soil Loss; GIS.

LISTA DE FIGURAS E IMAGENS

3.1	Esquematisação da perda de solo.....	22
3.2	Delimitação de regiões homogêneas em termos de característica de precipitação, no território brasileiro.....	24
3.3	Distribuição percentual entre os setores que gerenciam os recursos dos mecanismos de PSA por Bacia Hidrográfica.....	42
4.1	Localização da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	52
4.2	Localização da bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	53
4.3	Descrição percentual do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	54
4.4	Localização da bacia hidrográfica do Rio São José.....	55
4.5	Descrição percentual do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio São José.....	55
4.6	Mapeamento do uso e ocupação do solo da propriedade 06.....	69
4.7	Mapeamento do uso e ocupação do solo da propriedade 23.....	69
4.8	Observação da nascente inserida no projeto Produtores de Água na propriedade 2.....	70
4.9	Observação das condições das praticas conservacionistas adotadas no cultivo do café na propriedade 28.....	71
4.10	Observação das condições das praticas conservacionistas adotadas no cultivo do café na propriedade 23.....	71
4.11	Esquema do atributo de fluxo acumulado.....	75
4.12	Fluxograma da metodologia empregada nas análises dos fatores da EUPS.....	84

LISTA DE GRÁFICOS

5.1	Distribuição das áreas das bacias hidrográficas conforme as faixas de declividade..	91
5.2	Distribuição das áreas das propriedades visitadas conforme as faixas de declividade.....	92
5.3	Percentual de tipos do solo da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	108
5.4	Percentual de tipos do solo da bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	108
5.5	Percentual de tipos do solo da bacia hidrográfica do Rio São José.....	108
5.6	Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas utilizadas para o cálculo dos fatores R para a bacia hidrográfica do Rio Benevente (em mm).....	112
5.7	Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas utilizadas para o cálculo dos fatores R para a bacia hidrográfica do Rio Guandú (em mm).....	112
5.8	Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas utilizadas para o cálculo dos fatores R para a bacia hidrográfica do Rio São José (em mm).....	113
5.9	Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	124
5.10	Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	125
5.11	Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio São José.....	125
5.12	Marcação dos valores de LS nas três metodologias analisadas.....	135
5.13	Gráfico de comparação entre as metodologias de determinação de LS, considerando-se a declividade (S) como constante ao longo das retas.....	141
5.14	Gráfico dos valores do Fator LS quando se considerou duas metodologias, sendo que a metodologia de Bertoni tem o L fixo em 100m e a de Mitsova varia conforme a topografia do terreno.....	142
5.15	Formas de abastecimento de água nas propriedades cadastradas no Produtores de Água.....	153
5.16	A situação do esgotamento sanitário nas propriedades participantes do projeto Produtores de Água.....	154
5.17	Disposição final dos resíduos das propriedades participantes do projeto Produtores de Água.....	154

LISTA DE TABELAS

3.1	Classificação do R em intervalos de variação.....	25
3.2	Classificação dos valores de K quanto ao potencial de erodibilidade do solo.....	27
3.3	Valor de P da EUPS, para algumas práticas conservacionistas.....	30
3.4	Valor do Fator P, para algumas práticas conservacionistas, em função da declividade.....	31
3.5	Classes de interpretação para o parâmetro de potencial de perda de solo.....	31
3.6	Localização e quantificação dos programas de Pagamento por Serviços Ambientais nas bacias Hidrográficas.....	41
3.7	Cálculo dos custos de oportunidades no Estado do Espírito Santo.....	46
3.8	Coeficientes de potencial erosivos das coberturas do solo.....	48
3.9	Coeficientes topográficos (Kt).....	48
4.1	Percentual do uso do solo declarado no cadastro das propriedades.....	60
4.2	Percentual de propriedades que possuem determinada produção.....	61
4.3	Percentual de propriedades que possuem determinada criação de animais.....	61
4.4	Informações gerais das 30 propriedades selecionadas para o detalhamento do estudo.....	64
4.5	Estações pluviométricas consideradas para determinação de R da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	76
4.6	Estações pluviométricas consideradas para determinação de R da bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	77
4.7	Estações pluviométricas consideradas para determinação de R da bacia hidrográfica do Rio São José.....	77
4.8	Precipitações médias mensais, médias anuais e os valores de R das estações pluviométricas utilizadas para cálculo na bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	78
4.9	Precipitações médias mensais, médias anuais e os valores de R das estações pluviométricas utilizadas para cálculo na bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	78
4.10	Precipitações médias mensais, médias anuais e os valores de R das estações pluviométricas utilizadas para cálculo na bacia hidrográfica do Rio São José.....	79
4.11	Fator C de acordo com os usos do solo e as respectivas referências bibliográficas.....	81
4.12	Descrição de todas as simulações de perda de solo realizadas.....	83
5.1	Declividade média das áreas analisadas de acordo com a metodologia I.....	87
5.2	Faixas de declividade das bacias hidrográficas.....	91
5.3	Faixas de declividade das bacias hidrográficas, considerando apenas as áreas das propriedades analisadas.....	92
5.4	Declividade média das áreas analisadas de acordo com a metodologia II e III.....	93
5.5	Valores médios de LS e o desvio-padrão determinados de acordo com as três metodologias estabelecidas para as áreas das propriedades onde está implementado o projeto Produtores de Água.....	102
5.6	Valores médios e desvio-padrão de LS nas propriedades, determinados pelas metodologia III.....	103
5.7	Valores do Fator K da bacia hidrográfica do Benevente com os referenciais bibliográficos.....	109
5.8	Valores do Fator K da bacia hidrográfica do Guandú com os referenciais bibliográficos.....	109
5.9	Valores do Fator K da bacia hidrográfica do São José com os referenciais bibliográficos.....	109

5.10	Tabela com os valores de R das estações pluviométricas que influenciam na bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	110
5.11	Tabela com os valores de R das estações pluviométricas que influenciam na bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	111
5.12	Tabela com os valores de R das estações pluviométricas que influenciam na bacia hidrográfica do Rio São José.....	111
5.13	Valores médios e desvios-padrão do fator RK nas propriedades analisadas.....	122
5.14	Diagnóstico de uso e ocupação do solo das propriedades, exposição agrupada por bacias hidrográficas.....	124
5.15	Valores médios do fator CP nas propriedades analisadas.....	127
5.16	Proposições de práticas alternativas para as propriedades analisadas.....	129
5.17	Valores médios de CP conservacionistas com proposição de práticas alternativas nas propriedades analisadas.....	130
5.18	Valores médios de perda de solo em ton/(ha.ano) nas diferentes metodologias de determinação dos fatores consideradas.....	132
5.19	Valores máximos e mínimos de LS das propriedades, de acordo com a metodologia considerada.....	137
5.20	Erro médio quadrático entre as metodologias de LS analisadas.....	138
5.21	Áreas com perda de solo semelhante, mas localização espacial distinta e variação no parâmetro.....	145
5.22	Percentual de redução da perda de solo com a adoção de canários alternativos de uso e manejo do solo.....	148
5.23	Percentual da renda dos proprietários que é extraída das propriedades cadastradas no Produtores de Água.....	152
5.24	Estatísticas sobre o montante pago aos Produtores inseridos no projeto Produtores de Água.....	153

LISTA DE QUADROS

3.1	Relação entre os tipos de serviços ambientais e os benefícios gerados.....	39
5.1	Detalhamento dos métodos utilizados para a determinação do LS.....	86

LISTA DE MAPAS

4.1	Propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente inseridas no projeto Produtores de Água.....	57
4.2	Propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú inseridas no projeto Produtores de Água.....	58
4.3	Propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José inseridas no projeto Produtores de Água.....	59
4.4	Localização das propriedades visitadas na bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	65
4.5	Localização das propriedades visitadas na bacia hidrográfica do Rio Guandú..	66
4.6	Localização das propriedades visitadas na bacia hidrográfica do Rio São José.	67
5.1	Declividade da bacia hidrográfica do Rio Benevente, com a identificação das propriedades analisadas neste estudo.....	88
5.2	Declividade da bacia hidrográfica do Rio Guandú, com a identificação das propriedades analisadas neste estudo.....	89
5.3	Declividade da bacia hidrográfica do Rio São José, com a identificação das propriedades analisadas neste estudo.....	90
5.4	Fator topográfico determinado conforme a metodologia II para a bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	95
5.5	Fator topográfico determinado conforme a metodologia II para a bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	96
5.6	Fator topográfico determinado conforme a metodologia II para a bacia hidrográfica do Rio São José.....	97
5.7	Fator topográfico determinado conforme a metodologia III para a bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	98
5.8	Fator topográfico determinado conforme a metodologia III para a bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	99
5.9	Fator topográfico determinado conforme a metodologia III para a bacia hidrográfica do Rio São José.....	100
5.10	Pedologia da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	105
5.11	Pedologia da bacia hidrográfica do Rio Guandú	106
5.12	Pedologia da bacia hidrográfica do Rio São José.....	107
5.13	Fator R da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	115
5.14	Fator R da bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	116
5.15	Fator R da bacia hidrográfica do Rio São José.....	117
5.16	Fator RK da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	119
5.17	Fator RK da bacia hidrográfica do Rio Guandú.....	120
5.18	Fator RK da bacia hidrográfica do Rio São José.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A: estimativa de perda de solo média anual, em t/(ha.ano);

A_B: a área da bacia hidrográfica (m²).

ANA: Agência Nacional das Águas

As: a área de contribuição das declividades superiores de uma determinada célula, pelo tamanho do pixel (em m².m-1).

C: fator de uso e manejo do solo, adimensional.

E_c: a energia cinética da chuva.

EI₃₀: o índice de erosão em MJ/ha.mm/h.

EUPS: Equação Universal de Perda de Solo.

I: a intensidade da chuva em mm/h.

I₃₀: a intensidade máxima da chuva em 30 minutos, em mm/h.

IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente.

K: fator erodibilidade do solo, em t.ha.ano/(tm.ha.mm).

Kt: o coeficiente de ajuste topográfico

L: fator de comprimento de encosta, adimensional;

m²: metros quadrados

p: a precipitação média mensal em mm.

P: fator de práticas conservacionistas, adimensional.

P_R: o perímetro da bacia hidrográfica (m).

PSA: Pagamento por Serviços Ambientais.

R: fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h).

S: fator de declividade de encosta, adimensional.

SIG: Sistemas de Informações Geográficas

VRTE: Valor de Referência do Tesouro Estadual

VSrh: valor dos serviços ambientais de conservação e incremento da qualidade e da disponibilidade hídrica em R\$/ha/ano.

Z: o coeficiente de potencial erosivo referente ao estágio de desenvolvimento da floresta.

SUMÁRIO

RESUMO.....	V
ABSTRACT.....	VI
LISTA DE FIGURAS E IMAGENS.....	VII
LISTA DE GRÁFICOS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE QUADROS.....	XI
LISTA DE MAPAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo Geral.....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 Erosão Hídrica e Perda de Solo.....	20
3.1.1 Metodologias de Estimação da Perda de Água e Solo.....	21
3.1.1.1 Fator Erosividade da Chuva (R).....	23
3.1.1.2 Fator Erodibilidade do Solo (K).....	26
3.1.1.3 Fator Topográfico (LS).....	27
3.1.1.4 Fator Uso e Manejo do Solo (C).....	29
3.1.1.5 Fator Práticas Conservacionistas (P).....	30
3.1.1.6 Potencial de Perda de Solo (A).....	31
3.1.2 Sistemas de Informação Geográficas como Suporte a EUPS.....	31
3.2 O Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais na Gestão de Recursos Hídricos.....	32
3.2.1 Serviços Ecossistêmicos e Serviços Ambientais.....	32
3.2.2 Conceitos e Definições sobre o Mecanismo de Pagamento pela Prestação de Serviços Ambientais.....	34
3.2.3 O Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais e a Promoção De Benefícios Sociais e Econômicos.....	37
3.2.4 Tipologia do Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais.....	39
3.2.5 O Pagamento por Serviços Ambientais como Instrumento da gestão de Recursos Hídricos.....	40
3.2.6 Aplicações do Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais na Gestão de Recursos Hídricos.....	41
3.2.7 O projeto Produtor de Água/ANA.....	43
3.2.8 Projeto Produtores de Água/ES.....	44
3.2.8.1 Metodologia do Projeto Produtores de Água.....	45
3.2.8.2 Resultados e Ampliação Do Projeto Produtores de Água.....	49
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.1 Áreas de Estudo.....	50
4.1.1 Caracterização das Bacias Hidrográficas.....	50
4.1.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Benevente.....	51
4.1.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Guandú.....	52
4.1.1.3 Bacia Hidrográfica do Rio São José.....	54
4.1.2 Caracterização das Propriedades que participam do projeto Produtores de Água.....	56
4.1.3 Caracterização das Propriedades Analisadas.....	62
4.1.3.1 Critérios de Seleção das propriedades.....	62

4.1.3.2	Visita as Propriedades Analisadas.....	68
4.2	Procedimentos de Determinação dos Coeficientes de Perda de Solo da EUPS nas Propriedades Analisadas.....	72
4.2.1	Fator Topográfico (LS).....	72
4.2.1.1	Determinação do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto e do Mapa de Declividade.....	73
4.2.1.2	Determinação do Fator Topográfico Utilizado Atualmente no Produtores de Água	74
4.2.1.3	Determinação de LS Conforme Metodologia Proposta.....	74
4.2.2	Fator de Erodibilidade do Solo (K) e Erosividade da Chuva (R).....	76
4.2.2.1	Fator Erosividade da Chuva (R).....	76
4.2.2.2	Fator Erodibilidade do Solo (K).....	80
4.2.3	Fator Uso e Ocupação do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P).....	80
4.2.3.1	Determinação do cenário alternativo com a adoção de práticas conservacionistas para reduzir a perda de solo potencial.....	82
4.2.4	Estimativa dos Valores de Potencial de Perda de Solo Anual das Propriedades.....	83
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
5.1	Determinação dos Fatores Componentes da EUPS para as Propriedades Piloto Utilizadas no Estudo.....	85
5.1.1	Fator Topográfico (LS).....	85
5.1.2	Coeficientes de Erodibilidade do Solo (K) e Erosividade da Chuva (R).....	104
5.1.3	Fator de Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P).....	123
5.1.3.1	Fator CP atual.....	123
5.1.3.2	Fator CP conservacionista.....	128
5.1.4	Perda de solo das Propriedades Analisadas.....	131
5.2	Avaliação da Sensibilidade do Fator Topográfico quanto ao Emprego de Técnicas de Geoprocessamento e da Formulação Utilizada em sua Determinação.....	133
5.2.1	Influência do Estabelecimento de Simplificações Sobre o Fator Topográfico (LS).....	134
5.2.2	Verificação do Comportamento das Formulações de Cálculo do Fator LS.....	139
5.3	Importância de se Considerar o Fator RK como Forma de Relativização Espacial da Perda de Solo.....	143
5.4	A Contribuição do Fator CP sobre a Estimativa de Perda de Solo.....	146
5.4.1	A Análise de Toda a Propriedade como Área de Consideração do Cálculo da Perda de Solo.....	146
5.4.2	A Proposição de Cenários Alternativos de Uso do Solo como Critério para Redução do Potencial de Perda de Solo.....	147
5.5.	Proposição de Diretrizes para o Aprimoramento de Iniciativas de PSA, Especialmente o Projeto Produtores de Água.....	150
5.5.1	Proposição de Diretrizes Baseadas na Análise de Outras Aplicações de PSA.....	150
5.5.2	Proposição de Diretrizes com Base no Banco de Dados das Propriedades Participantes do Produtores de Água.....	151
5.5.3	Proposição de Aperfeiçoamento de Metodologias de PSA com Referência nos Fatores Técnicos que Impactam na Perda de Solo.....	155
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	156

7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159
	ANEXOS.....	163
A-1	Carta de apresentação fornecida pelo IEMA para mostrar aos proprietários das áreas visitadas como forma de mostrar a confiabilidade da pesquisa.....	164
A-2	Exemplo de mapeamento da propriedade realizado junto aos proprietários rurais.....	165

1. INTRODUÇÃO

A água é um fator limitante ao desenvolvimento mundial, principalmente, quanto à disponibilidade em quantidade e qualidade para o atendimento de demandas. Nesse sentido, a Política Nacional de Recursos Hídricos, lei n. 9.433/97, norteadora da gestão de recursos hídricos no país, tem dentre os seus objetivos o incentivo ao desenvolvimento sustentável regional, através da utilização de instrumentos legais de gestão, que são: os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso e o sistema de informações (BRASIL, 1997).

A Política de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo, lei n. 5.818/98, por sua vez, incorporou, a seus instrumentos de gestão, mecanismo de compensação. Este instrumento estabelece a possibilidade de implantação de mecanismos compensatórios a, entre outros, proprietários de terra/produtores rurais, que, comprovadamente, destinarem parte de áreas de sua propriedade à conservação dos recursos hídricos (ESPÍRITO SANTO, 1998).

Deste modo, a regulamentação desse instrumento de gestão forneceu subsídio à implantação do mecanismo de pagamento pela prestação de serviços ambientais (PSA) no estado do Espírito Santo, o projeto Produtores de Água.

O projeto Produtores de Água é uma iniciativa do governo estadual com o objetivo de criar mecanismos capazes de fazer retornar aos proprietários de áreas rurais, sensíveis do ponto de vista hidrológico, parte dos custos nos quais estes incorrem ao atuarem como facilitadores para a prestação de serviços ambientais de melhoria da qualidade da água, pela promoção da redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, do aumento da recarga de água subterrânea e redução das taxas de erosão laminar (SILVA *et al.*, 2008).

A metodologia utilizada no projeto Produtores de Água para determinação da compensação / incentivo ao produtor rural se baseia atualmente, em dois aspectos, que são: 1- custo de oportunidade da utilização da área para conservação florestal; e 2- perda de solo potencial na propriedade, promovida pela erosão hídrica laminar. No que se refere ao segundo aspecto, objeto de interesse do presente projeto de pesquisa, a metodologia vigente (em fase de experimentação em aproximadamente 200 propriedades rurais situadas nas bacias hidrográficas dos rios Benevente, São José e Guandu), inspirada nas variáveis utilizadas na metodologia do programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas (ANA) para o

país (SILVA *et al.*, 2008), emprega, na sua avaliação, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), operacionalizada de forma simplificada, carente de algum embasamento científico, e sem a utilização de recursos de geoprocessamento, o que poderá comprometer a qualidade do Programa, especialmente quando de sua implementação de forma mais extensiva, pós fase experimental.

A EUPS estima a taxa de perda de solos (**A**, em ton/ha/ano) com resultado do produto de seis fatores, que são: **K** (erodibilidade do solo, em t/ha/ano); **R** (erosividade da chuva, em MJ.mm/ha/h); **L** (comprimento de encosta, adimensional); **S** (declividade da encosta, adimensional); **C** (uso e manejo do solo, adimensional); e **P** (práticas conservacionistas, adimensional). Entre as simplificações de emprego da equação pelo projeto Produtores de Água/ES, mencionadas no parágrafo anterior, têm-se:

- Adota como constante o produto **RK** (por considerar que o produtor/proprietário de terra não pode intervir nesses fatores naturais), deixando com isso de relativizar o esforço que estes têm em lidar com os efeitos naturais erosivos relacionados ao K e ao R, que são variáveis espacialmente;
- Na determinação do fator topográfico **LS**, que emprega a equação de Bertoni (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1990), adota, sem embasamento científico, **L** igual a 100m, sabendo-se que este parâmetro é variável espacialmente, mesmo considerando pequenas propriedades rurais. Ainda, tendo em vista que não faz uso de ferramentas de geoprocessamento, estabelece apenas três valores para o fator S, representando valores médios de faixas de declives de terreno de 20% - 45%, 45% - 75% e 75% - 100% (observar que a faixa de declive 0% - 20% não é considerada).
- Restringe o estabelecimento do fator **CP** apenas a áreas voltadas para conservação e regeneração florestal, desconsiderando, por exemplo, práticas de conservação e manejo do solo. E mesmo no que se refere à conservação e regeneração florestal, apenas três estágios de regeneração são considerados.

Neste contexto foram definidos os objetivos do presente projeto de pesquisa, os quais são apresentados a seguir.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Propor e avaliar aperfeiçoamento metodológico do emprego da EUPS na implementação do Produtores de Água/ES, projeto vinculado ao instrumento de gestão PSA da Política Espírito-Santense de Recursos Hídricos, com emprego de ferramentas de geoprocessamento.

2.2. Objetivos Específicos

- Tomando como referência a abrangência metodológica e espacial vigente da aplicação do Projeto Produtores de Água/ES, avaliar:
 - a sensibilidade do fator topográfico (LS) quanto ao emprego de técnicas de geoprocessamento e da formulação utilizada na sua determinação;
 - a contribuição relativa, numa mesma propriedade, do fator uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas (CP) para “conservação e regeneração florestal” em relação ao valor de CP para outros “usos e ocupação do solo e práticas de conservação de solos”;
 - a importância de se considerar o produto RK como forma de se relativizar, espacialmente, o esforço quanto à adoção de práticas conservacionista na propriedade.
- Com base nos resultados dos objetivos específicos anteriores, propor diretrizes voltadas para emprego da versão aperfeiçoada de procedimento metodológico do emprego da EUPS no âmbito do Projeto Produtores de Água/ES.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Erosão Hídrica e Perda de Solo

A degradação dos recursos naturais, principalmente da água e do solo, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento dos cursos e corpos d'água, com prejuízos para o bem-estar humano e animal, na destruição de estradas, na geração de energia e na disponibilidade de água para abastecimento e para irrigação (PRUSKI, 2009).

Uma das principais causas desta deterioração está relacionada à erosão dos solos, que consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas pela ação da água e do vento. Nos locais onde ocorrem os processos erosivos, verifica-se a perda da capacidade produtiva do solo, devido à remoção dos horizontes superficiais, e os excedentes hídricos que chegam até a rede de drenagem da bacia, transportam sedimentos, nutrientes e em alguns casos agroquímicos que podem degradar a qualidade das águas dos cursos d'água (SILVA, 2009).

O transporte de solo pela água é um processo que é influenciado pela quantidade, intensidade, duração da chuva, tipo de solo, cobertura vegetal, declividade. Todo este processo começa com o impacto da gota de chuva sobre o solo, seguindo com a turbulência da água e do escoamento na superfície, ou seja, a erosão é um processo que passa por três etapas; quando as gotas atingem o solo ocorre o desprendimento das partículas, o material desprendido é transportado e depositado, encerrando o processo (SILVA, 2009).

A erosão é um fenômeno natural que pode ser acelerado pela ação do homem, e que na maioria das vezes não causa problemas somente no local de origem, reduzindo a fertilidade do solo, criando ravinas e em casos mais graves voçorocas, em geral, o problema também pode ocorrer em locais distantes da origem, através do assoreamento de rios, lagoas e reservatórios, além de contribuírem bastante com as inundações.

Deste modo torna-se evidente a importância do estudo sobre processos erosivos, que influenciam o ciclo hidrossedimentológico, para uma melhor gestão dos recursos hídricos no contexto de bacias hidrográficas, seja com o objetivo de determinar os valores dessas variáveis ou gerar cenários que reflitam possíveis consequências da adoção de políticas de

conservação e uso do solo nestas bacias, de forma a orientar os tomadores de decisões (ZOLIN, 2010).

3.1.1 Metodologias de Estimação da Perda de Água e Solo

Modelos matemáticos são ferramentas largamente empregadas na previsão do processo erosivo, tanto para planejamento conservacionista como no seu controle. Uma grande vantagem da aplicação de modelos reside na possibilidade de estudar vários cenários diferentes.

Para que se possa qualificar, ou até mesmo, quantificar a produção de perda de solo gerada em uma bacia hidrográfica, é preciso conhecer minuciosamente os fatores que causam essa perda, as inter-relações desses fatores, e a própria relação entre a perda de solo e as práticas de manejo que visam a sua minimização (LUPPI, 2002).

Inúmeras equações predizem a perda de solo, sejam elas empíricas ou determinísticas, estão disponíveis na literatura para a sua aplicação, cada uma assumindo suas próprias simplificações e considerações. Neste trabalho os esforços são concentrados na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), devido ao seu caráter dinâmico, de superação parcial das restrições climáticas e geográficas e de aplicação generalizada (PRUSKI, 2009).

Esta ferramenta apresenta-se como um mecanismo valioso para a conservação do solo, podendo ser utilizada como instrumento para planejamento do uso do solo, visando determinar as práticas de conservação mais apropriadas para o terreno, a fim de garantir a taxa de perda de solo abaixo ou igual à tolerância de perda para os diferentes tipos de solo (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1990; PRUSKI, 2009).

A fórmula matemática de expressão do mecanismo de predição de perda de solo da EUPS estima as 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 (Silva, 2009), conforme está exposto a seguir:

$$A = R . K . L . S . C . P \quad (3.1)$$

Sendo:

A: estimativa de perda de solo média anual, em t/(ha.ano);

R: fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h);

K: fator erodibilidade do solo, em t.ha.ano/(tm.ha.mm);

L: fator de comprimento de encosta, adimensional;

S: fator de declividade de encosta, adimensional;

C: fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P: fator de práticas conservacionistas, adimensional.

Estes fatores podem ser ocasionados por eventos naturais ou antrópicos e a figura 3.1 esquematiza os fatores conforme sua origem.

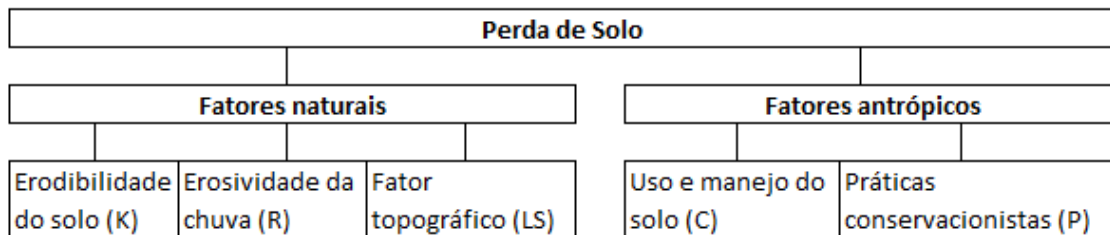


Figura 3.1: Esquematização da perda de solo.

Os parâmetros da EUPS são obtidos basicamente a partir de informações de campo, documentação cartográfica, fotográfica e imagens. Essas informações quando integradas ao modelo conferem aos resultados alcançados, em termos de estimativa de perdas de solo por erosão laminar relativo (LUPPI, 2002).

A seguir estão apresentados alguns métodos que determinam os fatores da EUPS.

3.1.1.1. Fator Erosividade da Chuva (R)

O fator de erosividade da chuva (R) é um indicador numérico que expressa a capacidade da chuva de erodir o solo de um terreno sem proteção. Guerra (2005) afirma que apesar da definição parecer simples, a erosividade é um processo complexo, uma vez que, depende de parâmetros como: o total de chuva, a intensidade e a energia cinética, principalmente. As gotas de chuva que golpeiam o solo são um agente que contribui para o processo erosivo em pelo menos três formas: a) desprendem partículas de solo no local que sofre o impacto; b) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas; c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água superficial.

A intensidade da chuva (mm.h^{-1}) é o fator mais importante e, juntamente com a duração, determinam a chuva total. Estes dados são obtidos essencialmente com o uso de pluviógrafos, os quais registram na forma gráfica o comportamento da chuva, fornecendo então informações sobre a altura, a intensidade e a duração do evento.

Dentre os métodos existentes para determinar a erosividade da chuva destaca-se o índice EI_{30} proposto por Wischmeier e Smith (1978) *apud* Poloni (2010), baseado na intensidade de uma chuva com 30 minutos de duração. Este indicador é expresso por:

$$EI_{30} = E_c \times I_{30} \quad (3.2)$$

Onde:

EI_{30} : o índice de erosão em MJ/ha.mm/h ;

E_c : a energia cinética da chuva;

I_{30} : a intensidade máxima da chuva em 30 minutos, em mm/h .

Os valores de intensidade da chuva e o seu período são obtidos com dados de pluviógrafos e uma das formas de se obter a energia cinética da chuva é pela equação proposta por Wischmeier e Smith (1978) *apud* Poloni (2010):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (3.3)$$

Onde:

E_c : a energia cinética em MJ/ha-mm;

I : a intensidade da chuva em mm/h.

Contudo, segundo Aquino et al. (2006), verifica-se a dificuldade de utilização do EI_{30} como um índice de erosão, devido à escassez e mesmo à inexistência de dados pluviométricos necessários para obtenção deste índice em muitos países em desenvolvimento, como exemplo do Brasil. Com isso diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos, fatores esses sendo de fácil medida e que não requerem registros de intensidade de chuva (LOMBARDI NETO, 1990; SILVA, 2004).

Silva (2004), com base nos trabalhos supracitados, propôs um mapa para o território brasileiro, onde o mesmo é subdividido em 8 regiões homogêneas para a aplicação das equações propostas, mediante critérios climáticos (tipos de chuva). Pruski (2009) adaptou o mapa, inserindo os limites dos Estados da federação, conforme possível de verificar na figura 3.2.



Figura 3.2: Delimitação de regiões homogêneas em termos de característica de precipitação, no território brasileiro.

Nesta figura, nota-se que o estado do Espírito Santo ficou inserido na área 5, que conforme o autor é coberta pela equação de Leprun (1981) apud Pruski (2009), que pode ser observada abaixo:

$$EI = 0,13 * (p^{1,24}) \quad (3.4)$$

Onde:

EI: a média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h;

p: a precipitação média mensal em mm.

Após a determinação dos valores de erosividade para vários locais de uma região, é possível então o estabelecimento de mapas sobre erosividade, chamados “Mapas Isoerodentes”, elaborados pelo método de interpolação de pontos correspondentes às estações pluviométricas. O método da Krigagem Ordinária, é o mais indicado para representação de fenômenos chuvosos segundo Vieira e Lombardi Neto (1995) e Farinasso et al. (2006).

Esses mapas podem ser úteis para conservacionistas e agricultores, pois fornecem informação sobre o potencial erosivo das chuvas de certa região e contribuem no sentido de refinar o conhecimento sobre as necessidades de implementação de planos de minimização da erosão em determinadas áreas (SILVA, 2004).

Para quantificar da representatividade os valores apresentados pelo fator R, a tabela 3.1 mostra a classificação do mesmo, segundo Carvalho (1994).

Tabela 3.1: Classificação do R em intervalos de variação

Intervalo (tm.mm/(ha.ano))	Interpretação
R < 250	Erosividade fraca
250 < R < 500	Erosividade média
500 < R < 750	Erosividade média a forte
750 < R < 1.000	Erosividade forte
R > 1.000	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (1994)

3.1.1.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)

O fator de erodibilidade dos solos (K) é um valor quantitativo determinado experimentalmente, é definido como a quantidade de solo perdida pelo índice de erosividade adotado em uma unidade de área, e está relacionado com a resistência do solo para sofrer erosão. Essa susceptibilidade em sofrer erosão está relacionada às interações das características físicas, biológicas, químicas e mineralógicas do solo, pois essas características irão influenciar suas propriedades como, permeabilidade, taxa de infiltração, capacidade de armazenamento de água, estabilidade de agregados, remoção de sedimentos, entre outros (GUERRA, 2005). A resistência do solo à erosão depende das propriedades físicas internas, textura, estrutura, permeabilidade e densidade, bem como de fatores externos, como o comprimento da rampa, forma do declive da mesma, sistema de manejo adotado e o tipo de cobertura do solo (POLONI, 2010).

Uma das fórmulas utilizadas para o cálculo do fator K é o nomograma de Wischmeier e Smith (1978). Contudo, Bertoni e Lombardi Neto (1990) destacam a dificuldades de obtenção do fator K dentro das normas da EUPS, pois requerem muitos anos de experimentos, são muito custosas e também existe muita dificuldade de se isolar os solos dos outros fatores que influenciam na erosão. Fato que, segundo Poloni (2010), tem incentivado pesquisadores a buscarem formas indiretas de obtenção do fator K. Porém a literatura aponta que esses métodos não podem ser utilizados indiscriminadamente para qualquer ambiente, pois resultados obtidos de forma indireta, quando comparados com dados obtidos em campo de forma direta, não apresentaram aproximação satisfatória. Segundo o autor o método proposto por Denardin (1990) *apud* Poloni (2010) para obtenção do fator K de 31 tipos de solos, adaptado para o Brasil, foi o que mais se aproximou do método direto de obtenção da erodibilidade.

E, para a classificação dos valores resultantes dos tipos de solo, quanto ao potencial de erodibilidade apresenta-se a tabela 3.2 a seguir.

Tabela 3.2: Classificação dos valores de K quanto ao potencial de erodibilidade do solo.

Intervalo	Interpretação
$K < 0,15$	Erodibilidade baixa
$0,15 < K < 0,30$	Erodibilidade média
$K > 0,30$	Erodibilidade alta

Fonte: Carvalho (1994)

3.1.1.3 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS), composto pela declividade (S) e o comprimento médio da rampa (L), influencia diretamente na velocidade do escoamento superficial, e por isso é considerado por muitos um fator fortemente atuante nos processos erosivos. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), o fator LS é a relação esperada de perda de solos em uma área com determinado valor de comprimento e inclinação da rampa comparado com uma parcela padrão de 25 m de comprimento e 9% de inclinação, valores escolhidos arbitrariamente. Existem algumas fórmulas postuladas para o cálculo desse fator e uma das ferramentas que vêm auxiliando no cálculo automatizado desse fator são os Sistemas de Informação Geográfica.

Uma metodologia comumente utilizada é a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990). A partir de dados experimentais estes autores definiram:

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (3.5)$$

Onde:

L: o comprimento médio da vertente (m);

S: a declividade (%)

Está já é a metodologia utilizada para a determinação do fator topográfico do projeto Produtores de Água, entretanto, a mesma pode ser aplicada de diferentes maneiras dependendo da forma como os parâmetros componentes forem calculados.

O cálculo do comprimento da vertente (L) possui uma grande dificuldade de ser automatizado, como realizado nas metodologias descritas anteriormente. Assim, alguns

autores definiram diferentes metodologias para o cálculo desse fator L, que estão citadas abaixo, conforme Luppi (2002):

- Goldenfum (1991):

Considerando a metade do menor lado do retângulo equivalente como sendo o valor médio do comprimento da vertente, o autor definiu:

$$L = 0,5 \times [P_R/4 - ((P_R/4)^2 - A_B)^{1/2}] \quad (3.6)$$

Onde:

L: o comprimento médio da rampa (m);

P_R: o perímetro da bacia hidrográfica (m);

A_B: a área da bacia hidrográfica (m²).

- Paiva *et al.* (1995):

A partir de uma área de drenagem retangular, onde se considerou o percurso médio do escoamento superficial correspondente a um quarto da largura do retângulo equivalente da bacia hidrográfica.

$$L = 0,25 \times [P_R/4 - ((P_R/4)^2 - A_B)^{1/2}] \quad (3.7)$$

Onde:

L: o comprimento médio da rampa (m);

P_R: o perímetro da bacia hidrográfica (m);

A_B: é a área da bacia hidrográfica (m²).

Utilizando Sistemas de Informações Geográficas, a obtenção dos fatores L e S ocorre basicamente a partir de um Modelo Digital do Terreno (MDT). Existem vários tipos desses modelos, mas dada a característica deste trabalho, será utilizado um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto – MDEHC, para o qual são necessárias as seguintes informações: curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e massa d'água.

Esse tipo de modelo preserva as características hidrológicas provocada no relevo, produzindo o entalhamento das drenagens e suavização nas bordas das massas hídricas, além da remoção de pontos de depressões ou de elevações, o que aproxima o modelo da realidade. Este procedimento emprega o algoritmo desenvolvido por Hutchinson (1989) *apud* Poloni (2010), e pode ser executado com o software ArcGIS 9.3, com a ferramenta “Topo to Raster”.

Uma das fórmulas de obtenção deste fator é a apresentada por Poloni (2010) e Rodriguez e Suarez (2010), através da equação abaixo:

$$LS = (m + 1)(As/22,13)^m \times (\text{sen}(\text{slope})/0,0896)^n \quad (3.8)$$

Onde:

As: a área de contribuição das declividades superiores de uma determinada célula, pelo tamanho do pixel (em $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$);

m e n: são parâmetros que especificam a condição de escoamento predominante, sendo que m varia de 0,4 a 0,6 e n 1,0 a 1,4.

A equação acima possibilitou a introdução do efeito tri-dimensional hidrológico e topográfico associado à convergência e divergência do terreno, incluindo a acumulação de fluxo e declividades. A acumulação de fluxo representa o número de células do MDT que vão drenar para certo ponto ou pixel do MDT (Poloni, 2010).

3.1.1.4. Fator de Uso e Manjo do Solo (C)

O fator de cobertura e manejo do solo (C) é definido pela quantidade de solos perdida em uma área coberta, comparada a uma área descoberta, mantida sob as mesmas condições ambientais. Não só a cobertura é considerada neste fator, mas também como ocorre o manejo da cobertura e suas inter-relações. São consideradas para o cálculo desse fator diversas relações possíveis e praticadas, tais como: se a cultura é permanente ou temporária; se a cultura está sendo desenvolvida unicamente ou em associações; se existem rotações das culturas; a técnica de preparo do solo para o plantio; o manejo dos restos culturais; a época do ano em que ocorre o plantio, devido a relação com a erosividade da chuva que também varia durante o ano; entre outros.

Wischmeier e Smith (1978) *apud* Poloni (2010) obtiveram os valores do fator C por medidas empíricas em mais de 10.000 parcelas anuais controláveis, exposta a chuvas naturais e com dados adicionais de estudos com chuva simulada. Nessas parcelas foram testadas as interrelações dos fatores supracitados, avaliando o efeito de cada componente na redução de perda de solos.

Os valores do fator C para as diferentes coberturas podem ser obtidos em diferentes trabalhos empíricos desenvolvidos no Brasil (BRAGA DA SILVA *et al.*, 2010; FARINASSO *et al.*, 2006; LOMBARDI NETO, 1999; LUPPI, 2002; POLONI, 2010; TOMAZONI *et al.*, 2005).

3.1.1.5. Fator Práticas Conservacionistas (P)

O fator de práticas conservacionistas (P) está relacionado ao manejo dado a determinada cultura; é analisada como ela é disposta no solo, podendo ser nos casos mais conhecidos: morro abaixo, plantio em contorno, contorno com alternância de capinas e cordões de vegetação permanente, terraceamento, dentre outras técnicas. O valor expressa a relação entre a quantidade de perda de solos de uma prática qualquer e o cultivo morro abaixo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). A tabela 3.3 a seguir mostra valores de fator P para algumas práticas mais comuns.

Tabela 3.3: Valor de P da EUPS, para algumas práticas conservacionistas.

Prática Conservacionista	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1990).

Wischmeier e Smith (1978) *apud* Poloni (2010) propuseram valores de fator P em função da declividade para as culturas em contorno e em contorno com alternância de capinas, como indicado na tabela a seguir.

Tabela 3.4: Valor do Fator P para algumas práticas conservacionistas, em função da declividade.

Declividade(%)	Contorno	Contorno com alternância de capinas
0 – 2,0	0,60	0,30
2,1 – 7,0	0,50	0,25
7,1 – 12,0	0,60	0,30
12,1 – 18,0	0,80	0,40
18,1 – 24,0	0,90	0,45

Fonte: Wischmeier e Smith (1978).

3.1.1.6. Potencial de Perda de Solo (A)

O potencial de perda de solo é o fator resultante da multiplicação dos fatores componentes da equação 3.1, e para qualificar o valor quanto à gravidade da erosão utiliza-se a tabela 3.5.

Tabela 3.5: Classes de interpretação para o parâmetro de potencial de perda de solo.

Taxa de Perda de Solo (t/ha/ano)	Interpretação
$A < 10$	Nula a pequena
$10 < A < 15$	Moderada
$15 < A < 50$	Média
$50 < A < 120$	Média a forte
$120 < A < 200$	Forte
$A > 200$	Muito forte

Fonte: Carvalho (1994).

3.1.2 Sistemas de Informação Geográficas como Suporte à EUPS

O SIG é uma ferramenta computacional criada especialmente para armazenamento, manipulação e exibição de dados e informações espacialmente distribuídos. Mais do que um sistema de apresentação e processamento de dados, ele possui módulos para a realização de operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações. Seu banco de dados permite a associação de atributos e a realização de consultas, permitindo a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas.

Segundo Silva (2009), podem ser apontados pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais, onde é grande o impacto do uso de tecnologia SIG: (i) mapeamento temático; (ii) diagnóstico ambiental; (iii) avaliação de impacto ambiental e; (iv) ordenamento territorial proporcionando os prognósticos ambientais.

O estudo de estimação de erosão, por sua vez, pertence ao último grupo (prognósticos ambientais) e o impacto da tecnologia SIG nesse tipo de estudo é tão grande que se faz imprescindível.

3.2 O Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais na Gestão de Recursos Hídricos

3.2.1. Serviços Ecosistêmicos e Serviços Ambientais

Um dos aspectos mais discutidos e mencionados na recente literatura sobre a conservação de florestas, biodiversidade e recursos hídricos é exatamente a possibilidade de utilizar o mecanismo de Pagamento pelos Serviços Ambientais como instrumento econômico para auxiliar na gestão ambiental desses serviços ecossistêmicos.

Ao analisar a construção de mercados de serviços ambientais e ecossistêmicos, e sua importância como mecanismo fomentador do desenvolvimento sustentável, o passo inicial a ser dado é a caracterização dos mesmos. Serviços ecossistêmicos referem-se aos serviços prestados pelos ecossistemas naturais e as espécies que os compõem, na sustentação e preenchimento das condições para a permanência da vida humana na Terra (DALY, 1997). Entre estes serviços pode-se citar a regulação climática, regulação de fluxos hidrológicos, armazenamento e sequestro de carbono, conservação da biodiversidade, conservação e regeneração dos solos, ciclagem de nutrientes, controle de doenças, controle de poluentes, belezas cênicas, entre outros.

A principal iniciativa de levantamento de informações neste tema, o Millenium Ecosystem Assessment (2005), que teve como um dos objetivos avaliar os impactos das mudanças que estão ocorrendo nos ecossistemas em relação ao bem estar das sociedades humanas, foi definir os serviços ecossistêmicos como os benefícios que as pessoas e as sociedades humanas

obtem dos ecossistemas, e os dividiu em quatro grupos: i) Serviços de provisão: fornecem bens ou produtos ambientais, utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, incluindo alimentos, água, madeira e fibras; ii) Serviços reguladores: ajudam na manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a qualidade do ar e da água, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, controle de processos críticos de erosão, etc.; iii) Serviços culturais: fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais, incorporados os valores da cultura humana; iv) Serviços de suporte: mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como formação do solo, polinização, manutenção da biodiversidade, fotossíntese e ciclo de nutrientes.

O conceito de serviço ambiental, por sua vez, se insere na abordagem antrópica, visto que apesar dos avanços tecnológicos, a humanidade ainda depende fundamentalmente do fluxo dos serviços dos ecossistemas e possui influência direta no fornecimento dos mesmos. Como serviço ambiental se entende toda ação antrópica que causa algum efeito em um ecossistema, com o objetivo de se apropriar ou utilizar um ou mais produtos gerados por ele. Sendo assim, a manutenção dos serviços ambientais, isto é, a manutenção da capacidade dos ecossistemas de manter as condições ambientais apropriadas, dependem da implementação de práticas humanas que minimizem os impactos negativos do desenvolvimento nesses ecossistemas (JARDIM, 2010).

Por esse motivo, o termo serviço ambiental é mais utilizado do que serviço ecossistêmico quando se trata de pagamento pela prestação de serviços ambientais, uma vez que este está relacionado diretamente com as práticas antrópicas. A natureza oferta o serviço ecossistêmico, mas o homem que trabalha na manutenção desses serviços presta um serviço ambiental. Torna-se claro que os serviços prestados pela natureza passam a desempenhar um papel diferenciado tanto no âmbito social, mas, principalmente, no âmbito econômico a partir do instante em que se reconhece a importância das ações conservacionistas dos agentes responsáveis pela manutenção desses serviços (JARDIM, 2010).

3.2.2. Conceitos e Definições sobre o Mecanismo de Pagamento pela Prestação de Serviços Ambientais

O mercado de pagamento pela prestação de serviços ambientais apresenta a concepção de que beneficiários de serviços ambientais façam pagamentos diretos, regidos por contratos, condicionados aos serviços entregues, para produtores rurais ou outros detentores dos meios de provisão dos serviços ambientais (comunidades rurais, governos municipais, etc.), com a finalidade de que os mesmos adotem práticas que garantam a conservação e/ou restauração dos ecossistemas em análise. Diferente dos outros métodos que buscavam soluções que conciliassem a conservação ao desenvolvimento rural através de projetos integrados, esta abordagem assume que existe uma relação entre os diferentes usos de solo e busca equilibrar os interesses conflitantes através de esquemas de compensação (WUNDER, 2006).

Para a definição de sistemas de pagamentos por serviços ambientais “puros”, devem ser utilizados cinco critérios, conforme Wunder (2006): i) ser uma transação voluntária; ii) ter um serviço ambiental bem definido ou um uso da terra que possa assegurar o fornecimento de um serviço ambiental; iii) existir pelo menos um comprador, ou usuário, de serviço ambiental; iv) existir pelo menos um vendedor, ou fornecedor, de serviço ambiental; v) haver condicionalidade, isto é, o fornecedor do serviço ambiental deve assegurar o seu fornecimento.

Dos itens acima, se depreende alguns pontos importantes, segundo Veiga Neto (2008). O primeiro diz respeito ao caráter voluntário da participação, característica do instrumento econômico, em oposição às medidas de comando e controle. E pressupõe que o potencial provedor dos serviços tem outras opções do uso da terra. O segundo ponto crucial é a necessidade da clara definição do serviço em pauta. Neste caso, quanto menor a certeza em relação ao serviço entregue, maior a possibilidade de questionamento em relação às vantagens de pagar por elas. Também fica claro que se está falando de uma transferência de recursos daquele que compra para aquele que vende, recursos estes que somente serão pagos, se os serviços forem entregues, enquanto os pagamentos durarem.

No entanto, as experiências existentes apesar de muitas vezes não contemplarem todos os itens mencionados acima, ainda sim são consideradas aplicações deste mecanismo, uma vez que para grande parte dos autores qualquer pagamento que busque promover o fornecimento

de serviços ambientais pode ser considerado como um pagamento de serviços ambientais. De acordo com Bracer et al.(2007), todos os esquemas de PSA partem do ponto comum de que os serviços ambientais têm valor econômico quantificável que por sua vez, podem gerar investimentos e práticas de restauração e manutenção dos mesmos.

Os mecanismos de pagamento por serviços ambientais podem ser classificados em três categorias, de acordo com o nível de intervenção governamental, segundo Veiga Neto (2008): a primeira delas, onde o grau de intervenção governamental é menor, diz respeito aquelas em que predominam os acordos privados entre produtores de serviços e os beneficiários; a segunda categoria seria aquela onde predominam os mecanismos de troca entre os agentes, normalmente utilizados a partir da fixação pela autoridade reguladora de um determinado padrão a ser alcançado via negociação entre os atores; a terceira é aquela onde estão situados os pagamentos realizados pelo setor público, assim considerado quando algum nível de governo ou uma instituição pública paga pelo serviço ambiental.

Outra classificação realizada para os pagamentos pela prestação de serviços ambientais está relacionada às formas de pagamento, se diretamente em dinheiro, ou se de forma indireta, através de créditos subsidiados, de assistência técnica em projetos de agricultura, ou outras formas de compensação. A periodicidade dos mesmos, os agentes de repasse, a relação contratual e diversos outros itens relacionados passam ainda por debates em cada processo de estabelecimento dos mercados em pauta e certamente tem seus reflexos nos resultados finais para a conservação e para a geração de renda dos produtores rurais envolvidos.

Bracer *et al.* (2007) lista os principais tipos de pagamentos, da seguinte forma:

- Pagamentos diretos em dinheiro: normalmente utilizados como compensação aos custos de oportunidade ou pela perda de receita derivada da mudança de uso de solo preconizada para geração do serviço ambiental, como por exemplo quando da passagem de um uso de solo produtivo, para um uso do solo estritamente conservacionista;
- Cobertura dos custos de transação e de gerenciamento do projeto: neste modelo, o comprador paga ao provedor do serviço pelos custos decorrentes da montagem do projeto e da conversão à prática preconizada, sendo que esta última, geralmente capaz de gerar também alguma receita, como por exemplo, a conversão de áreas degradadas para sistemas agroflorestais;

- Apoio financeiro para objetivos comunitários específicos, tais como a construção de escolas ou hospitais. Muito utilizado em esquemas que envolvem a participação de comunidades rurais como provedoras dos serviços;
- Pagamentos em produtos, tais como caixas de abelhas, tanques-rede e outros equipamentos, que possam agregar outras formas de renda à comunidade. Também muito utilizados em esquemas que envolvam comunidades de produtores rurais e quando se deseja utilizar os esquemas PSA como indutores de novas formas de receitas nas comunidades rurais.

No debate com relação a forma de pagamento, se em dinheiro ou em outros meios, como insumo ou apoio, é interessante perceber que a discussão permeia visões de mundo diferente, e que estão também no centro da discussão sobre serviços ambientais. Segundo Wunder (2006), os economistas geralmente sugerem que os pagamentos em dinheiro, sendo os mais flexíveis, são os preferíveis, particularmente quando os provedores de serviços ambientais deixam de auferir outras rendas por conta dos contratos estabelecidos. Por outro lado, quando o objetivo central é o desenvolvimento rural em geral têm-se dificuldade de apoiar os pagamentos em dinheiro, no caso de comunidades rurais, por conta do receio quanto a habilidade desta comunidade gerar bem estar sustentável a partir destes pagamentos. Sob esta ótica, os pagamentos em dinheiro podem causar estresse social, no entanto, por outro lado, a transferência constante de recursos tem uma efetividade maior na redução da pobreza, do que contribuições em insumos e produtos, ou através de projetos de desenvolvimento.

Um aspecto que pesa favoravelmente em relação ao apoio através de produtos ou serviços, ao invés de dinheiro, diz respeito ao valor envolvido na transação. No caso de valores pequenos, os produtos ou serviços podem ser mais bem recebidos e entendidos como algo maior do que pagamentos em dinheiro. Mas, por outro lado, os pagamentos em dinheiro permitem uma flexibilidade no uso, que os outros tipos de apoio não permitem.

Outras questões relevantes quanto ao modelo de pagamento pela prestação de serviços ambientais referem-se à periodicidade dos pagamentos, se mensais, anuais, ou ainda se pagos adiantadamente ou somente com a entrega do produto. E também, quanto à titularidade do contrato, se o produtor de forma individual, ou se a comunidade, de forma coletiva. Para cada uma destas situações, há vantagens e desvantagens, que devem ser analisadas no processo de construção destes mercados de PSA.

3.2.3. O Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais e a Promoção De Benefícios Sociais e Econômicos

Os benefícios proporcionados pelo pagamento à provisão de serviços ambientais associam-se ao reconhecimento de que os ecossistemas fornecem gratuitamente uma gama de serviços, que proporcionam as condições e os processos que dão suporte à vida e, de maneira direta ou indireta, contribuem para a sobrevivência e o bem estar humanos (VEIGA NETO, 2008).

E no âmbito socioeconômico, a criação de mercados, através do mecanismo de pagamento, podem gerar oportunidades para as comunidades mais pobres escaparem da pobreza. Na opinião de Pagiola *et al.* (2005), o fato dos mercados de serviços ambientais reconhecerem e incorporarem os pagamentos por benefícios antes não considerados já é um avanço no sentido da inclusão aos pequenos produtores beneficiários. Os autores também chamam a atenção para a grande possibilidade implícita nestes mercados, de transferência de renda dos relativamente ricos consumidores de serviços ambientais, para os relativamente pobres fornecedores destes serviços.

Outra questão particularmente relevante quanto aos benefícios potenciais gerados pelos mercados de pagamento por serviços ambientais é a observância da também provável transferência de renda da população urbana para a rural, o que também parece ser extremamente positivo do ponto de vista do desenvolvimento sustentável de qualquer país, desde que tratada de forma progressiva. Um ponto importante a ser considerado em países como o Brasil, que apresentam uma estrutura fundiária extremamente concentrada, é a importância de desenvolvimento de mecanismos de transferência que dêem prioridade aos pagamentos por serviços ambientais que combinem o princípio do provedor-recebedor com o princípio do desenvolvimento sustentável, onde a ação ambientalmente correta, também seja socialmente justa.

Bracer *et al.* (2007) divide os potenciais benefícios dos pagamento pela prestação de serviços ambientais para as comunidades mais pobres, no curto e longo prazo, da seguinte forma. No curto prazo: i) incremento de renda, tanto para consumo, quanto para investimento; ii) aumento de experiência com atividades de negócios, transações econômicas, intermediários, etc; iii) crescente conhecimento de práticas sustentáveis, através de assistência técnica e

capacitação. No longo prazo: i) aumento da resiliência dos ecossistemas locais; ii) potencial para aumento da produtividade da terra, por conta dos investimentos nos serviços ambientais.

Mas apesar destes potenciais benefícios, também existem os riscos potenciais para as comunidades pobres rurais e é importante que a comunidade rural esteja ciente destes riscos e consiga pesar os prós e contras em relação a cada um deles. Entre eles, Bracer et al. (2007) cita:

- Custos de oportunidade: a perda de rendas derivadas das atividades que serão perdidas após o estabelecimento de um contrato de PSA;
- Perda dos direitos de colheita de produtos tradicionais: é importante que a comunidade garanta no contrato de PSA, o acesso aos produtos tradicionais;
- Redução de trabalho: alguns contratos de PSA podem reduzir as atividades de manejo da terra e com isto, reduzir a geração de trabalho;
- Competição pelo uso da terra, ou a perda pelo direito ao seu uso: o sucesso dos mercados de serviços ambientais eventualmente pode atrair investidores, especuladores, grileiros, ou outros empurrando as comunidades para fora, especialmente aquelas com pequeno grau de garantia à posse da terra;
- Redução na provisão de importantes serviços ambientais: projetos mal desenhados podem incentivar formas de uso da terra que privilegiem por demais um determinado serviço ambiental, e ponham em risco outros serviços também importantes para as comunidades e sociedade em geral;
- Perda de controle sobre as opções de desenvolvimento local: contratos de longo prazo mal desenhados podem impedir ou limitar determinadas opções de desenvolvimento local, eventualmente mais interessantes para as comunidades em foco;
- Desempenho e seguros: pagamentos baseados em performance podem ser interrompidos ou reduzidos por fatores externos ao controle dos produtores rurais. Por conta disto, esquemas de seguros, que possam fazer frente a estes imprevistos, idealmente deveriam fazer parte destes arranjos.

3.2.4. Tipologia do Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais

Nos últimos anos, percebe-se um aumento cada vez mais crescente de experiências baseadas em PSA, aproveitando as crescentes oportunidades. De acordo com o Relatório sobre a Situação das Florestas no mundo, elaborado pela FAO em 2007, foram encontrados quase trezentos exemplos de mecanismos de PSA em todo planeta (FAO, 2007). Segundo dados deste estudo, os mercados de carbono lideram a lista de investimentos com um crescimento de 200 a 700% ao ano. Os outros mercados de PSA crescem em uma taxa de aproximadamente 10 a 20% ao ano. Para se ter uma noção da grandeza desses novos mercados, só o programa de proteção dos corpos d'água na China gera em torno de US\$ 4 bilhões ao ano em pagamentos por serviços ambientais (ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2009).

Os projetos de PSA existentes compreendem, basicamente, serviços ambientais associados a uma destas quatro categorias distintas: mercados de carbono, mercados de biodiversidade, mercados de água e mercado de beleza cênica. O quadro abaixo relaciona os tipos de serviços ambientais de cada mercado distinto com os benefícios pelos quais são pagos.

Serviços ambientais	Exemplos	Benefício pelo qual se paga
Captura e retenção de carbono	Captura de carbono por vegetação em crescimento, ou a condição de retenção de carbono no solo e na vegetação	Efeito potencial de mitigação das mudanças climáticas causadas por emissões antropogênicas
Conservação da biodiversidade	Regulação e estrutura do ecossistema, diversidade genética e das espécies	Valor de opção (uso futuro) e existência (conhecimento da existência e importância)
Conservação de serviços hídricos	Purificação da água, regulação de fluxo e sedimentação	Qualidade e quantidade de água
Conservação de beleza cênica	Paisagens naturais e culturais	Recreação e opções para turismo

Quadro 3.1: Relação entre os tipos de serviços ambientais e os benefícios gerados.

Fonte: Jardim (2008) apud Landell-Mills e Porras (2002).

3.2.5. O Pagamento por Serviços Ambientais como Instrumento da gestão de Recursos Hídricos

O Código Florestal, lei n. 4.771/1965, define a área de preservação permanente (APP) como sendo área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Dentre as APP definidas pela lei, destacam-se as margens dos rios e córregos d'água, ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais; e as nascentes, ainda que intermitentes e os chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura, além das regiões topográficas íngremes e os topos de morros.

A escolha dessas áreas foram baseadas na relevância destas para conservação dos recursos hídricos e conseqüentemente para o equilíbrio de todo o ecossistema, sendo responsáveis pela preservação da qualidade e recarga das águas, pela redução da erosão hídrica e pela melhoria da capacidade de diluição de poluentes. Além disso, as APP funcionam como agente regulador da vazão fluvial, conseqüentemente das cheias, e preservadora das condições sanitárias para o desenvolvimento da vida humana nas cidades (VEIGA NETO, 2008).

Diante de todas essas funções hidrológicas, Braga (2005) afirma que um enorme incremento nos benefícios gerados pela floresta para a qualidade e disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas poderia ser obtido apenas com a efetivação das Áreas Protegidas já definidas por lei e com as metas estabelecidas pelas políticas governamentais de conservação. Porém, o que se observa na prática brasileira é que a efetividade das áreas protegidas ainda se constitui um grande problema ambiental, sendo necessárias fortes interferências na recuperação de florestas, principalmente nas que se localizam em APP, que de uma forma geral se encontram gravemente degradadas em quase todo o país.

Partindo desse contexto, torna-se clara a necessidade de encontrar meios eficazes de preservação dessas áreas estratégicas para a conservação dos recursos hídricos, uma vez que a lei por si só não oferece esses meios, e assim a ferramenta de pagamento pela prestação de serviços ambientais torna-se uma ferramenta viável.

Entretanto, não são apenas as APP as responsáveis pelo equilíbrio e a garantia da qualidade e quantidade dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Apesar das florestas serem mais lembradas como provedoras de serviços ambientais relacionados à água, também existe uma grande participação das práticas agrícolas na geração desses serviços. Landell-Mills & Porras (2002) afirmam que na maior parte dos casos, florestas podem adicionar mais valor se incorporadas dentro de estratégias mais amplas de manejo de bacias hidrográficas, incluindo outros usos de solo, e outras medidas conservacionistas.

3.2.6. Aplicações do Mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais na Gestão de Recursos Hídricos

Nos últimos anos, várias experiências de esquemas de PSA em bacias hidrográficas foram implementadas em todo o mundo, resultando em cerca de 216 projetos de pagamentos por serviços ambientais relacionados à bacias hidrográficas. A tabela 3.6 apresenta as principais informações acerca dos projetos de pagamento pela prestação do serviço de quantidade e qualidade da água, por regiões do mundo. É mostrada a quantidade de programas identificados e ativos por áreas, assim como o montante transacionado no ano de 2008 e por todo período histórico do projeto, e a quantidade de hectares protegidos no ano de 2008 e historicamente.

Tabela 3.6: Localização e quantificação dos programas de Pagamento por Serviços Ambientais Nas bacias Hidrográficas.

	Programas identificados	Programas ativos	Volume de transações acumuladas até 2008 (milhões US\$)	Total de hectares protegidos (milhões de ha)
América Latina	101	36	177,6	-
Ásia	33	9	91	0,2
China*	47	47	40.800	270
Europa	5	1	30	0,03
África	20	0	570	0,4
Estados Unidos	10	10	8.355	2.970
Total	216	113	50.048	3.240

Nota: A China é separada da Ásia devido ao nível de atividade por lá.

Fonte: Stantol et al. (2010).

A partir da observação da figura acima, podemos constatar que o total movimentado pelos projetos de PSA considerados é de cerca de US\$50 bilhões e o montante de hectares protegidos é de 3,2 bilhões de hectares. Das experiências regionais vale destacar a China, que implementou programas que somam cerca de US\$ 40 bilhões, para restaurar áreas degradadas e desmatadas que causam graves problemas de sedimentação, perda de solo, perda de produtividade das hidrelétricas e inundações em cursos d'água. Segundo Staton *et al.* (2010), nos últimos 10 anos, sete milhões de hectares de florestas já foram recuperados.

A tabela 3.6 apresenta informações consolidadas das iniciativas de PSA consideradas neste estudo, para os países da América Latina. A existência de 36 experiências ativas, somente na América Latina, sendo que a maior parte dos casos visa aumentar a disponibilidade e/ou qualidade da água para consumo humano em áreas urbanas ou para geração de energia hidroelétrica, revela a importância que este instrumento tem apresentado enquanto mecanismo de gestão de recursos hídricos.

A figura 3.3, por sua vez, apresenta a distribuição dos projetos de PSA relacionados à água, conforme o tipo de iniciativa do mesmo.

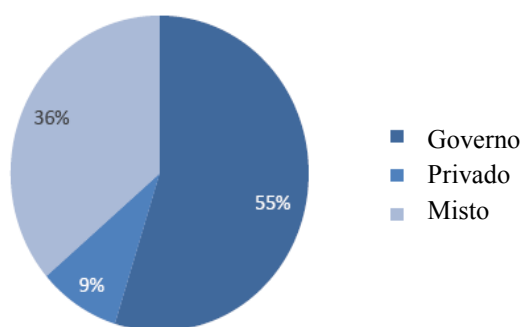


Figura 3.3: Distribuição percentual entre os setores que gerenciam os recursos dos mecanismos de PSA por Bacia Hidrográfica. Fonte: Stantol *et al.* (2010).

Dentre as experiências de pagamento pela prestação de serviços ambientais relacionados ao fomento da quantidade e da qualidade da água existentes, algumas podem ser observadas abaixo:

- Pagiola *et al.* (2005) descreve o exemplo da Costa Rica como o mais antigo de implementação de uma política de governo voltada para a compensação financeira a proprietários rurais, que através da conservação de florestas está contribuindo no incremento da biodiversidade bem como na melhoria da qualidade de água para o setor

produtivo, sendo este um dos atores principais nesse mecanismo de pagamento por serviços ambientais. Nesta experiência, o governo criou um mecanismo de financiamento baseado em um fundo - o FONAFIFO - alimentado por uma taxa nos combustíveis fósseis, para remunerar os proprietários rurais que conservam e restauram a floresta nativa;

- Na França, uma iniciativa privada da empresa Perrier-Vitel, comerciante de água engarrafada, paga aos agricultores ribeirinhos a montante da empresa para que esses proporcionem a empresa uma água de melhor qualidade, através da preservação da vegetação ciliar e do não lançamento de poluentes no curso d'água. O pagamento, em seu maior percentual, é realizado por meio do fornecimento de insumos que melhorem a propriedade e a produção;
- Em Nova York, graças a uma parceria com proprietários rurais, a tendência de degradação da qualidade da água que abastece a cidade foi revertida. A água vem das regiões montanhosas a 200 km de distância de Nova York. Ao longo da bacia do manancial de abastecimento, o governo incentivou aos proprietários a adoção de práticas de manejo que não poluem as águas, além da preservação das matas ciliares. A prefeitura de Nova York já investiu US\$ 1,5 bilhão, mas economizou US\$ 10 bilhões, com custos caso tivesse que tratar toda a água que utiliza (Staton *et al.*, 2010).

3.2.7. O projeto Produtor de Água/ANA

Proposto em 2004 pela ANA, com o objetivo de desenvolver inicialmente, uma metodologia de um projeto de conservação de mananciais estratégicos, onde são propostos incentivos financeiros aos benefícios relativos ao abatimento da sedimentação realizados por estes produtores rurais, proporcionais aos benefícios relativos ao abatimento da sedimentação realizados por estes produtores rurais, provedores dos serviços (CHAVES *et al.*, 2004).

Com a metodologia baseada na estimação do abatimento de erosão e da sedimentação em uma determinada propriedade rural, a partir da implantação de um projeto de conservação do solo, quantifica os valores médios de erosão antes e depois da implantação do projeto conservacionistas, através de uma simplificação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). E por meio deste percentual de abatimento de erosão, estabelece o valor pago, variando de R\$50,00 a R\$100,00 por hectare, por ano.

Como aplicações e/ou adaptações desta metodologia nacional, surgiram as seguintes experiências no país¹: o “Conservador de Água”, uma iniciativa do município de Extrema (MG); o projeto “Oasis”, da cidade de Apucarana (PR) e o projeto Produtores de Água/ES, do governo estadual do Espírito Santo, além das iniciativas de aplicação nas bacias dos rios Pípiripau no Distrito Federal; Piracicaba-Capivari-Jundiá (PCJ), nos estados de São Paulo e Minas Gerais; e Guandu, no Rio de Janeiro.

3.2.8 Projeto Produtores de Água/ES

No estado do Espírito Santo, a Lei Estadual 5.818/1998 (Espírito Santo, 1998) que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos inovou, considerando além do instrumento econômico da cobrança pelo uso da água, como a Política Nacional de Recursos Hídricos, o conceito provedor-recebedor ao propor mecanismos compensatórios a prestadores de serviços ambientais na área de melhoria de qualidade e incremento da disponibilidade das águas:

Art. 31 - Serão estabelecidos Mecanismos Compensatórios na forma estabelecida em regulamento:

II- Aos Proprietários Rurais ou Posseiros que comprovadamente destinem parte de áreas de sua propriedade à conservação dos Recursos Hídricos(...).
(Espírito Santo, 1998).

Desta forma, a lei pretende de modo objetivo, incentivar os proprietários de terras à adoção de práticas menos impactantes, dentre elas o não-uso ou o uso sustentável de áreas consideradas estratégicas para o bom funcionamento do ciclo hidrológico.

Aliada a esta ferramenta, o Plano de Desenvolvimento do Espírito Santo 2025 (ES 2025), um documento que apresenta uma visão de futuro planejada pelo governo para o estado, com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico regional de maneira socialmente equilibrada, possibilitando também a conservação e melhoria do meio ambiente, tem dentre os seus propósitos possibilitar uma situação confortável aos recursos hídricos estaduais, quanto à disponibilização em quantidade e qualidade necessárias para o desenvolvimento do estado e também a ampliação da cobertura florestal de 8% do território estadual para 16%. Assim,

¹ Para maiores informações acerca das aplicações do Projeto Produtor de Água, acessar <http://www.ana.gov.br/produagua/Principal/tabid/668/Default.aspx>.

como forma de fomentar esta estratégia, o governo do estado visualizou o mecanismo de pagamento por serviços ambientais, o qual já estava relacionado com o instrumento de compensação financeira da Política Estadual de Recursos Hídricos.

O projeto Produtores de Água/ES tem como um de seus propósitos, criar mecanismos capazes de fazer retornar aos proprietários de áreas rurais, sensíveis do ponto de vista hidrológico, parte dos custos nos quais incorrem os mesmos ao atuarem como facilitadores para a prestação dos serviços de melhoria de qualidade de água (Silva *et al.*, 2008).

São diversas as possibilidades de atuação na facilitação da prestação do serviço ambiental, dentre elas destaca-se a destinação da área útil de sua propriedade, e sensível do ponto de vista hidrológico, à recuperação da cobertura vegetal original, que resultará futuramente em um maior equilíbrio no ciclo hidrológico, e na manutenção de áreas produtivas com incentivos à melhoria de técnicas.

A fonte de recursos para este projeto foi viabilizada através do FUNDÁGUA, um fundo financeiro público cujo objetivo principal é fornecer suporte para a gestão de recursos hídricos no Espírito Santo. Este fundo é composto, especialmente, por um montante de 3% do total dos royalties do petróleo e do gás natural contabilizados pelo estado, e tem por regulamentação que dispor 60% do seu recurso anual para fomentar o mecanismo de pagamento pela prestação de serviços ambientais no estado.

3.2.8.1. Metodologia do Projeto Produtores de Água

O valor do incentivo a ser fornecido pelo serviço ambiental de conservação e melhoria da quantidade e qualidade da água em cursos d'água no estado do Espírito Santo, projeto Produtores de Água/ES, é calculado pela equação de pagamento por serviços ambientais apresentada abaixo. Essa formulação, segundo Silva *et al.* (2008) tem por objetivo ponderar através de parâmetros técnicos e orçamentários cada situação passível de ser contemplada pelo projeto.

$$VSrh = 200 VRTE \times (1 - z) \times Kt \quad (3.9)$$

Onde:

VSrh: o valor dos serviços ambientais de conservação e incremento da qualidade e da disponibilidade hídrica em R\$/ha/ano;

200 VRTE (Valor de Referência do Tesouro Estadual): o custo de oportunidade para um serviço ambiental, acrescido de adequações orçamentárias;

Z: o coeficiente de potencial erosivo referente ao estágio de desenvolvimento da floresta;

Kt: o coeficiente de ajuste topográfico.

O custo de oportunidade estipulado em 200 VTRE foi calculado conforme os custos de oportunidades médios estimados para as principais atividades agrícolas do estado do Espírito Santo (pecuária, café, eucalipto, cana de açúcar e banana). Nesta situação o custo de oportunidade pode ser entendido como a perda de receita de um proprietário rural ingresso no programa, devido à conversão de áreas destinadas ao sistema produtivo convencional em outras atividades.

A tabela 3.7 abaixo demonstra os procedimentos realizados para o cálculo do custo de oportunidades para o projeto Produtores de Água/ES.

Tabela 3.7: Cálculo dos custos de oportunidades no Estado do Espírito Santo

Cultura	Prod. Média (ha/ano)	Área de produção	Participação na área produtiva total (%)	Rentabilidade (R\$/ha.ano)	Valor ponderado
Pecuária	880 l/ha.ano	1.800.000	62,07 %	R\$ 350,00	R\$ 217,24
Café	25 saca/ha.ano	550.000	18,97 %	R\$ 2.000,00	R\$ 379,31
Eucalipto	30 m³/ha.ano	220.000	7,59 %	R\$ 900,00	R\$ 68,28
Cana-de-açúcar	65 ton/ha.ano	70.000	2,41 %	R\$ 450,00	R\$10,86
Banana	7 ton/ha.ano	21.000	0,72 %	R\$ 400,00	R\$2,90
		Total	91,7%	Total	RS 678,59
		Área Total	100%		R\$ 739,36

Elaboração: SILVA *et al.* (2008).

Fonte: CEDAGRO, INCAPER e IBGE, dados de 2008.

O valor médio estimado de R\$739,36 ha/ano foi convertido em 200 VTRE da seguinte forma (Silva *et al.*, 2008):

- Através da Lei Estadual nº 8995/08 (ESPÍRITO SANTO, 2008), o Governo do Estado do Espírito Santo reconhece como passível para pagamento quatro serviços ambientais: [1] conservação e melhoria da qualidade e disponibilidade hídrica; [2] conservação e incremento da biodiversidade; [3] redução de processos erosivos e fixação, e [4] seqüestro de carbono para fins de minimização os efeitos das mudanças climáticas globais.
- Como num primeiro momento o projeto Produtores de Água reconhece através do pagamento em espécie somente o serviço de incremento da disponibilidade de recursos hídricos, o valor por hectare por ano será de 1/3 (um terço), ou seja, R\$ 246,34 (duzentos e quarenta e seis reais e trinta e quatro centavos).
- Para indexar o valor base para pagamento utilizou-se a *Unidade de Referência do Tesouro Estadual* (VTRE), que calculado a valor presente representaria 137 VTREs aproximadamente.
- Sabendo-se que a equação deverá propor, concomitantemente, critérios ambientais capazes de proporcionalizar os valores em função do grau de evolução da cobertura florestal e da declividade da área abrangida, devendo ainda em paralelo, ser capaz de cobrir ao menos parte dos custos de oportunidade dos proprietários rurais, é sugerida uma elevação do valor base para 200 VTRE, para pagamentos nesta modalidade.
- Logo, na equação de pagamento, entendemos como **200 VTRE**, a unidade de referência que engloba parte do *custo de oportunidade* e a *adequação orçamentária* do governo estadual para 01 serviço ambiental, estando o mesmo ligeiramente superior aos valores (em dólares) adotados como referência para valoração dos serviços ambientais em outras experiências, nos níveis nacional e internacional.

(SILVA *et al.*, 2008)

Já os parâmetros técnicos Z e K_T , determinados com base na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

O coeficiente de potencial erosivo referente ao estágio de desenvolvimento da floresta (Z) é a variável que adiciona à metodologia do projeto estadual os potenciais efeitos de diferentes usos do solo, quanto a processos de erosão e sedimentação do solo, na melhoria da quantidade e qualidade da água.

Este parâmetro tem uma escala de variação entre 0 e 1, sendo que quanto maior o coeficiente, maior será o potencial erosivo decorrente do uso do solo. Os valores para determinação deste coeficiente foram retirados na metodologia do projeto da ANA, realizado por Chaves *et al.* (2004), que apresenta uma tabela com diversos usos e manejos possíveis para o solo.

No projeto Produtores de Água/ES é reconhecida apenas a conservação da cobertura vegetal, como possibilidade de uso para o solo, de acordo com os objetivos estaduais de ampliação da cobertura florestal. Os estágios considerados de cobertura florestal estão dispostos abaixo, com os respectivos coeficientes tabelados.

Tabela 3.8: Coeficientes de potencial erosivos das coberturas do solo

Cobertura	Z
Mata primária ou secundária avançada ou média	0,01
Mata secundária inicial (capoeira, capoeirão)	0,15
Inicial (pastagem degradada)	0,25

Elaboração: SILVA *et al.* (2008).

Fonte: CHAVES *et al.*, (2004).

O coeficiente topográfico (K_T) foi determinado, segundo Silva *et al.* (2008), com base na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), observando a variação dos fatores de comprimento da rampa (L) e declividade do terreno (S).

Entretanto, com o intuito de simplificar os aspectos operacionais do projeto o parâmetro L foi estabelecido como uma constante no valor de 100m. De acordo com Silva *et al.* (2008), os valores resultantes da equação de Bertoni foram normalizados e os mesmos foram divididos em classes de distribuição, onde os valores adotados de K_T são os de centro de classe, como pode ser observado na tabela 3.9.

Tabela 3.9: Coeficientes topográficos

Classes de declividade	Kt
20-45%	0,27
45-75%	0,55
Acima de 75%	0,86

Fonte: SILVA *et al.* (2008).

A aplicação do projeto ocorre nas regiões de nascentes das bacias hidrográficas do Rio Benevente, Rio Guandú e Rio São José. Estas serão as áreas de estudo da presente pesquisa e serão detalhadas em tópicos seguintes.

3.2.8.2. Resultados e Ampliação Do Projeto Produtores De Água

Os resultados até o momento gerados pela fase experimental do projeto Produtores de Água/ES não permitem estabelecer conclusões sobre os benefícios ambientais de aumento de disponibilidade hídrica e de melhoria em sua qualidade, porque a escala de tempo de monitoramento dos resultados é ainda insuficiente para apresentar conclusões, e o maior percentual do volume de pagamentos é realizado para manutenção da vegetação nativa ciliar, atuando portanto, como medida preventiva ao desmatamento. Entretanto, observações indiretas apontam uma favorável melhoria da qualidade de vida das famílias, por conta dos benéficos socioeconômicos gerados, como a distribuição de renda (MONTEIRO, 2010).

Já a perspectiva de expansão do projeto está presente nos objetivos do governo estadual, através do novo Projeto de Ampliação da Cobertura Florestal, denominado de Reflorestar, que ainda se encontra em fase de elaboração. Neste novo projeto, o mecanismo de pagamento pela prestação de serviços ambientais assumirá o papel de instrumento chave para a promoção do desenvolvimento regional da localidade, não apenas pelos benefícios ambientais, mas também considerando os benefícios sociais e econômicos provenientes do mesmo (IEMA, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os procedimentos adotados para o desenvolvimento da presente pesquisa. De forma geral a metodologia foi dividida em duas seções: caracterização das bacias hidrográficas onde o projeto Produtores de Água está implementado, e das propriedades analisadas; e o detalhamento dos processos para determinação dos coeficientes de perda de solo da EUPS.

4.1. Áreas de Estudo

A caracterização das áreas de estudo ocorrerá em diferentes níveis. De início serão descritas as três regiões participantes do projeto Produtores de Água, que são as bacias hidrográficas do Rio Benevente, do Rio Guandú e do Rio São José. Em seguida, serão detalhados os atributos das propriedades inseridas no escopo deste projeto, quando da elaboração do banco de dados. A última etapa desta sessão consistirá na discretização do processo de mapeamento das 30 propriedades selecionadas para aprofundamento da análise, nas quais foram realizadas as visitas de campo.

4.1.1. Caracterização das Bacias Hidrográficas

O projeto Produtores de Água foi inicialmente aplicado em escala de teste em uma região de nascente do Rio Benevente, no ano de 2008, estendendo-se, ainda sob a forma experimental, para parcelas com mesma característica nas bacias do Rio Guandu e Rio São José. Estas regiões foram consideradas como áreas prioritárias para a implantação do projeto por: possuírem em suas cabeceiras o uso do solo predominantemente agrícola e importantes remanescentes florestais, que se configuram como potenciais provedores de serviços ambientais, na modalidade referente a conservação e incremento da disponibilidade hídrica; o fato das Bacias do Rio Benevente e Guandu, acrescidas dos usos industriais e de abastecimento, na esfera do sistema de gerenciamento de recursos hídricos e em parceria com os comitês de bacia, podem viabilizar um potencial mercado de compra e venda de serviços ambientais; e que os municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio São José

pertencem a região de entorno das áreas semi-áridas e sub-úmidas secas, cujas características climáticas apontam uma elevada susceptibilidade à desertificação (IEMA, 2012).

A seguir serão apresentadas informações gerais destas três bacias hidrográficas e o histórico dentro do projeto Produtores de Água. Vale ressaltar que as descrições pedológicas, pluviométricas e de relevo destas regiões serão mostradas no decorrer da pesquisa, com os resultados gerados por este trabalho.

4.1.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Benevente

A bacia hidrográfica do Rio Benevente, localizada na região sul do Espírito Santo, possui uma área superficial de aproximadamente 1.207 km² e abrange terras dos municípios de Anchieta, Alfredo Chaves, Iconha, Guarapari e Piuma. Limita-se ao norte com a bacia do Rio Jucu, a oeste com as bacias dos Rios Itapemirim e Novo e ao sul com o Oceano Atlântico.

O rio Benevente nasce no município de Alfredo Chaves, na localidade de São Bento de Urânia, a cerca de 800m de altitude. Os seus principais afluentes são: na margem direita, o rios Maravilha, Crubixá e Pongal; e na margem esquerda, os rios Iritimirim, Batatal, Caco do Pote, Corindibá, Grande e Salinas.

Segundo Henrique (2009), a extensão do curso d'água principal da bacia é de 79 km até a sua foz no município de Anchieta, onde está localizado um dos maiores manguezais do estado. Neste ponto a vazão média é de 25,10 m³/s. A figura 4.1 mostra a localização da bacia hidrográfica do rio Benevente.

As florestas nas regiões de cabeceiras ainda estão bem preservadas, no entanto na região mais baixa, devido a ocupação antrópica, o solo muitas vezes encontra-se exposto e suscetível a erosão. Quanto ao uso do solo, na bacia hidrográfica este apresenta-se concentrado em atividades agropecuárias, principalmente pecuária e culturas como café, banana e olerícolas (IEMA, 2012)

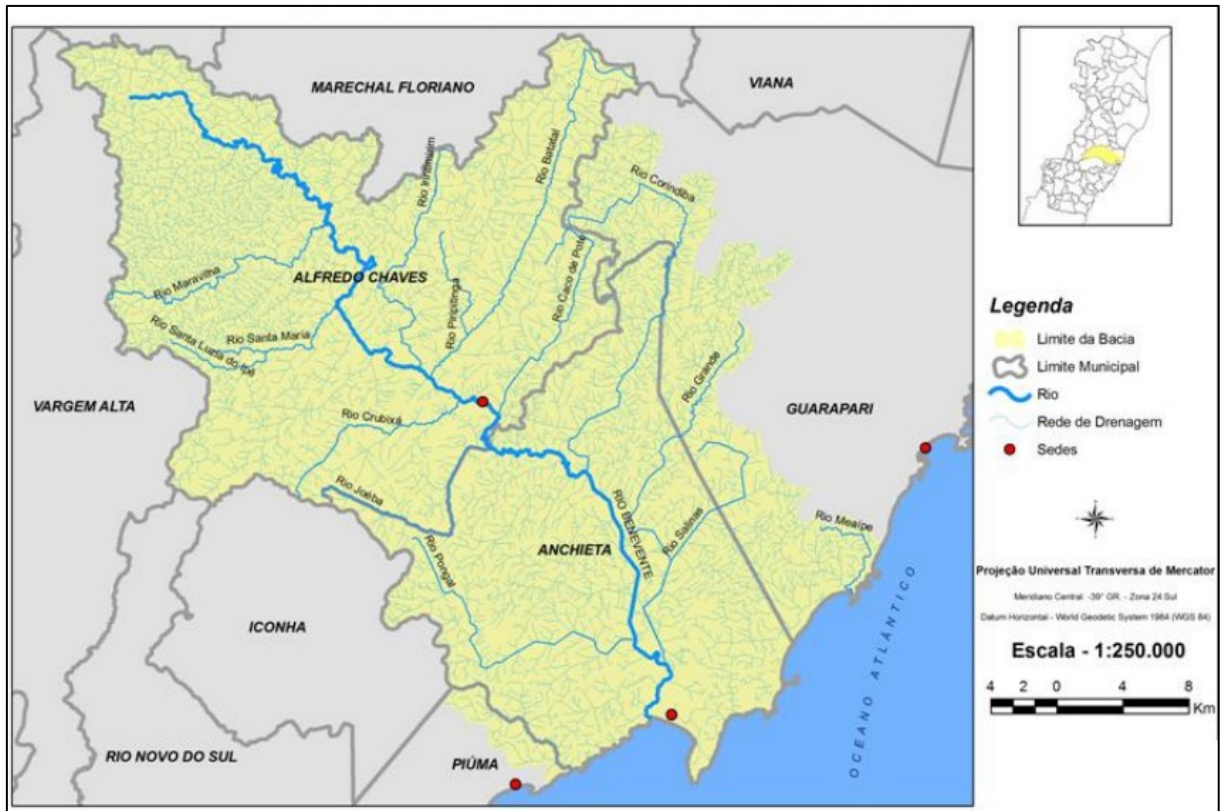


Figura 4.1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Benevente. Fonte: IEMA, 2012.

Sobre a participação no projeto Produtores de Água, a bacia hidrográfica do Rio Benevente, especificamente, a sub-bacia do Córrego do Batatal, localizado no município de Alfredo Chaves, foi a primeira região onde o projeto foi aplicado, em escala piloto. A escolha da referida sub-bacia ocorreu por considerar de que esta região serviria como um laboratório natural para o projeto, conforme IEMA (2012). As principais motivações, relacionadas às características físicas da região, foram a fácil delimitação geográfica da região e a existência de relevantes fragmentos florestais conservados.

Posteriormente, o projeto Produtores de Água foi ampliado para as demais sub-bacias do Benevente localizadas no município de Alfredo Chaves.

4.1.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Guandú

O Rio Guandú é um dos principais afluentes do rio Doce. Sua bacia hidrográfica localiza-se, integralmente no território espírito-santense. Abrange uma área de 2.145 km² que inclui, total

ou parcialmente, sete municípios: Afonso Cláudio, Baixo Guandu, Brejetuba, Laranja da Terra, Colatina, Itaguaçu e Itarana. Destes, os quatro primeiros têm sua sede dentro dos limites da região hidrográfica, conforme mostrado pela figura 4.2.



Figura 4.2: Localização da bacia hidrográfica do Rio Guandú. Fonte: IEMA, 212.

O principal rio componente desta bacia hidrográfica é o referido rio Guandú que estende-se por cerca de 160 km, com uma vazão média de 42,1 m³/s. Dentre os principais fatores de degradação da qualidade da água estão a ocupação desordenada de margens dos rios, a erosão dos solos e o lançamento de efluentes e resíduos de atividades agropecuárias (PIRH Doce, 2010).

Para caracterização do uso do solo da bacia hidrográfica apresenta-se a seguir a figura 4.3, com segmentação da área da bacia entre os principais tipos de uso do solos.

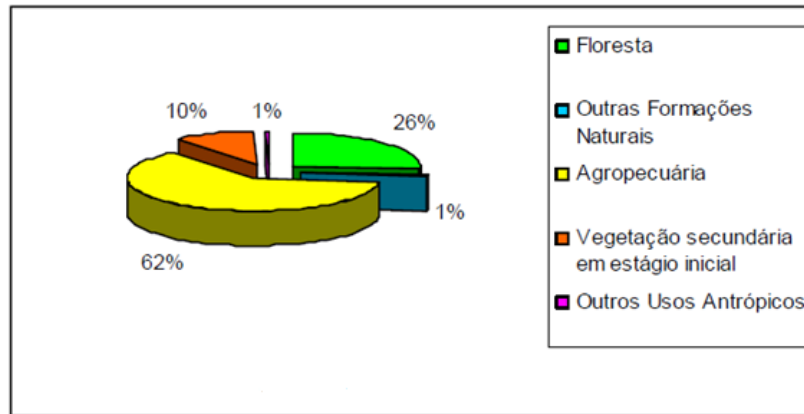


Figura 4.3: Descrição percentual do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Guandú. Fonte: PIRH Doce, 2010.

No escopo do projeto Produtores de Água, a inserção desta região ocorreu em 2009, ainda sob a fase experimental do projeto, ficando restrita apenas às regiões de nascente dos principais cursos d'água desta bacia hidrográfica, que se localizam nos municípios de Alfredo Chaves e Brejetuba.

4.1.1.3 Bacia Hidrográfica do Rio São José

O Rio São José, principal curso d'água desta bacia hidrográfica, tem suas nascentes no município de Mantenópolis, e percorre cerca de 154 km até desaguar na lagoa Juparanã, localizada no município de Linhares, que posteriormente une-se ao Rio Doce. A região Hidrográfica abrange totalmente os municípios de Alto Rio Novo, Águia Branca, São Domingos do Norte e Governador Lindenberg e parcialmente os municípios de São Gabriel da Palha, Vila Valério, Mantenópolis, Sooretama, Rio Bananal e Linhares. Abrange no total uma área de 2.407 km², como pode ser visto na figura 4.4 mostrada abaixo.

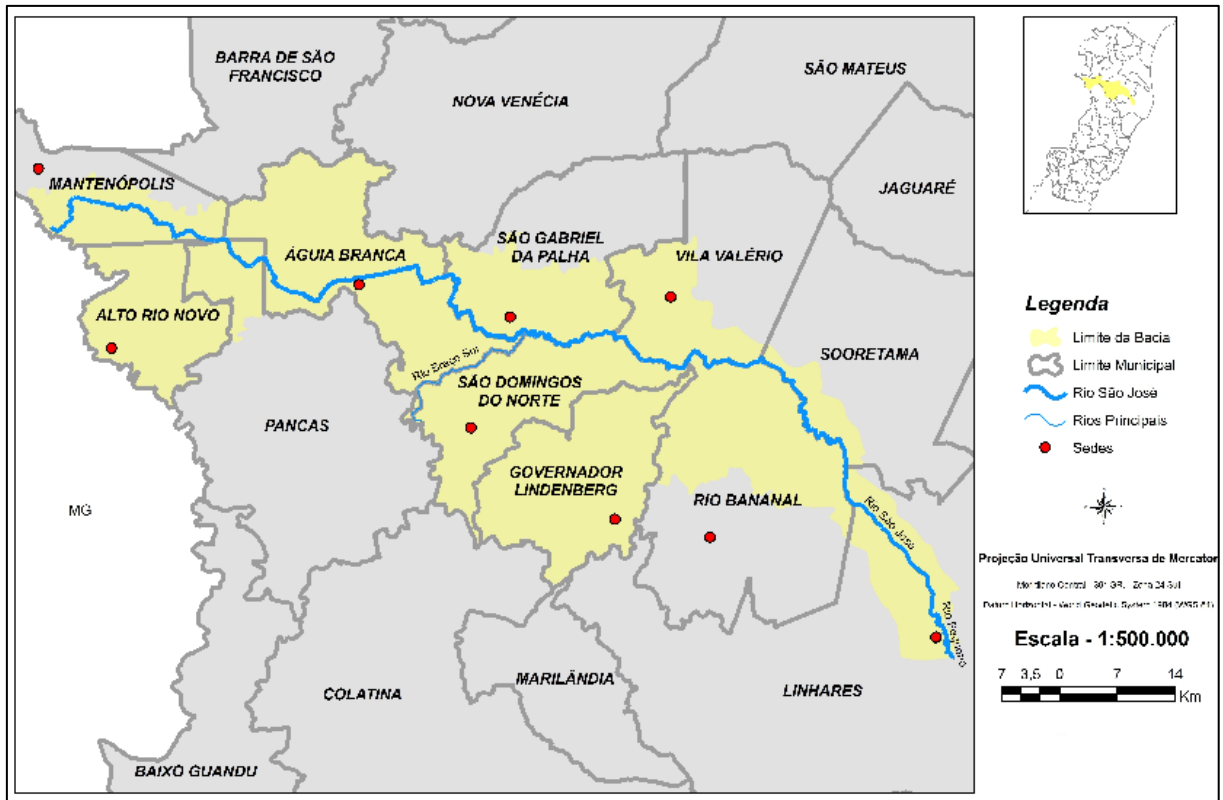


Figura 4.4: Localização da bacia hidrográfica do Rio São José. Fonte: IEMA, 2012.

A localização desta bacia hidrográfica no noroeste do estado do Espírito Santo, encontra-se em uma área suscetível à desertificação e, portanto, a conservação da água em quantidade e qualidade é de importância evidenciada. Em grande parte da bacia hidrográfica ocorre a predominância de área antropizadas, e especialmente sob forte susceptibilidade a erosão. A figura 4.5, que aponta a descrição dos principais usos do solo feitas na bacia hidrográfica, corrobora tais afirmações.

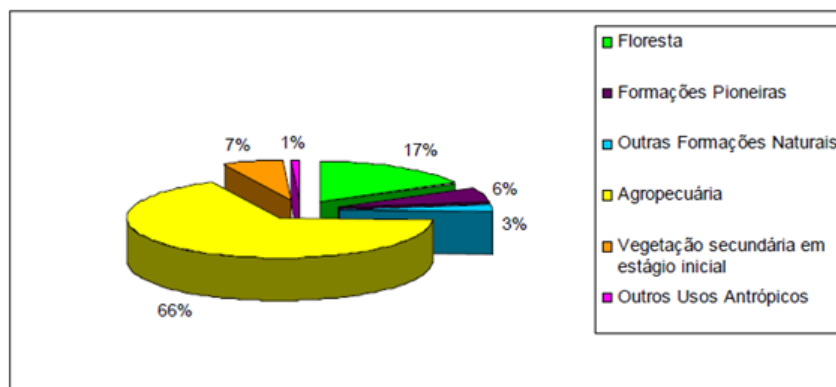


Figura 4.5: Descrição percentual do uso do solo na bacia hidrográfica do Rio São José. Fonte: PIRH Doce, 2010.

4.1.2 Caracterização das Propriedades que participam do projeto Produtores de Água

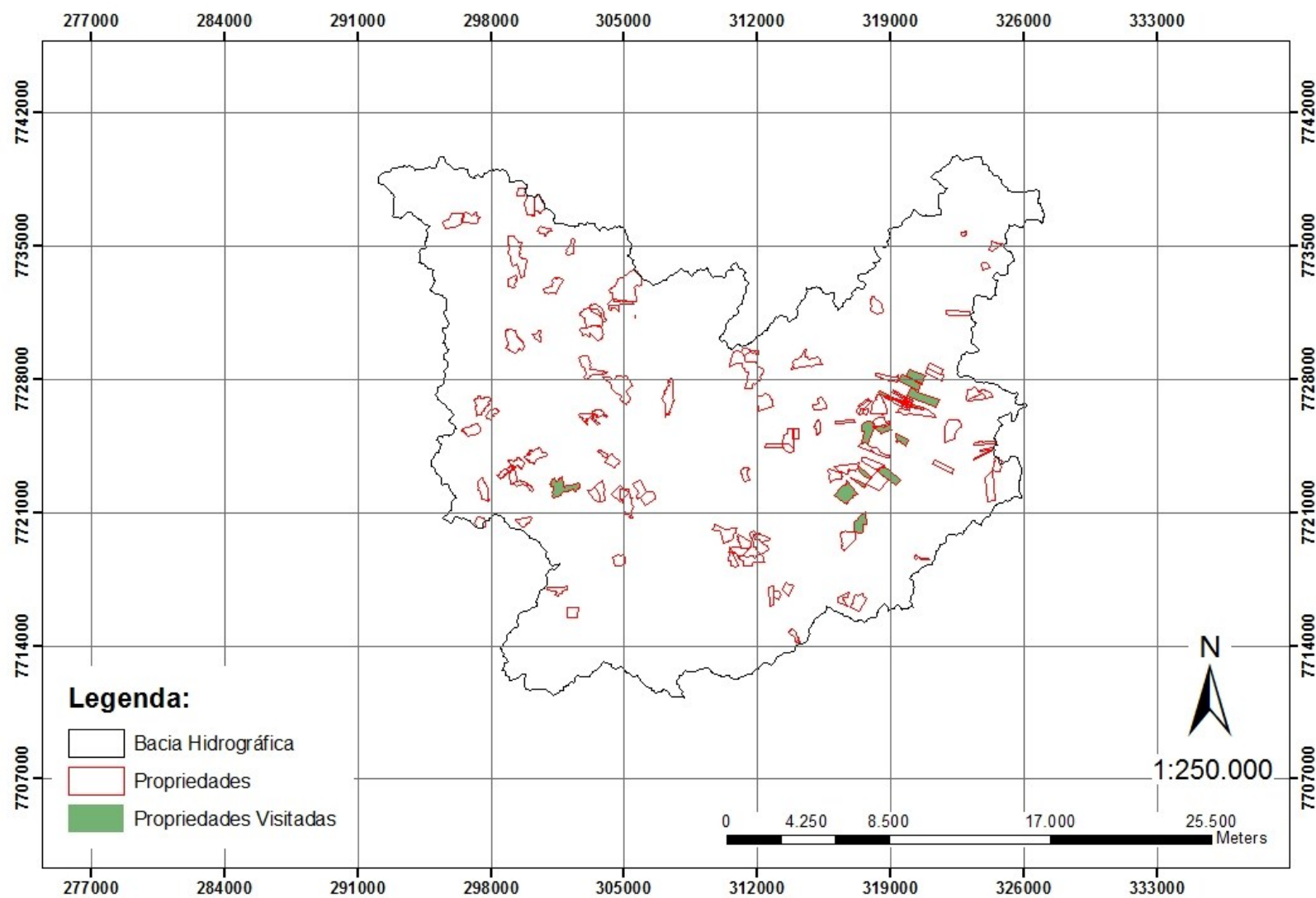
Para descrição das propriedades inseridas no projeto Produtores de Água, esta pesquisa montou um banco de dados em maio de 2011, com as informações cadastrais, os pareceres técnicos e delimitações geoprocessadas das áreas limítrofes de todas as propriedades inseridas no escopo do projeto. Todas estas informações foram disponibilizadas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), que é o órgão gestor do projeto.

Os formulários de cadastro das propriedades foram preenchidos de acordo com as informações fornecidas pelos próprios produtores rurais, e contém informações gerais das propriedades: características socioeconômicas; condição hídrica e sanitária; o que é cultivado; percentual de renda que é extraído da propriedade; tipo de mão de obra utilizado; fonte de abastecimento de água; dentre outros.

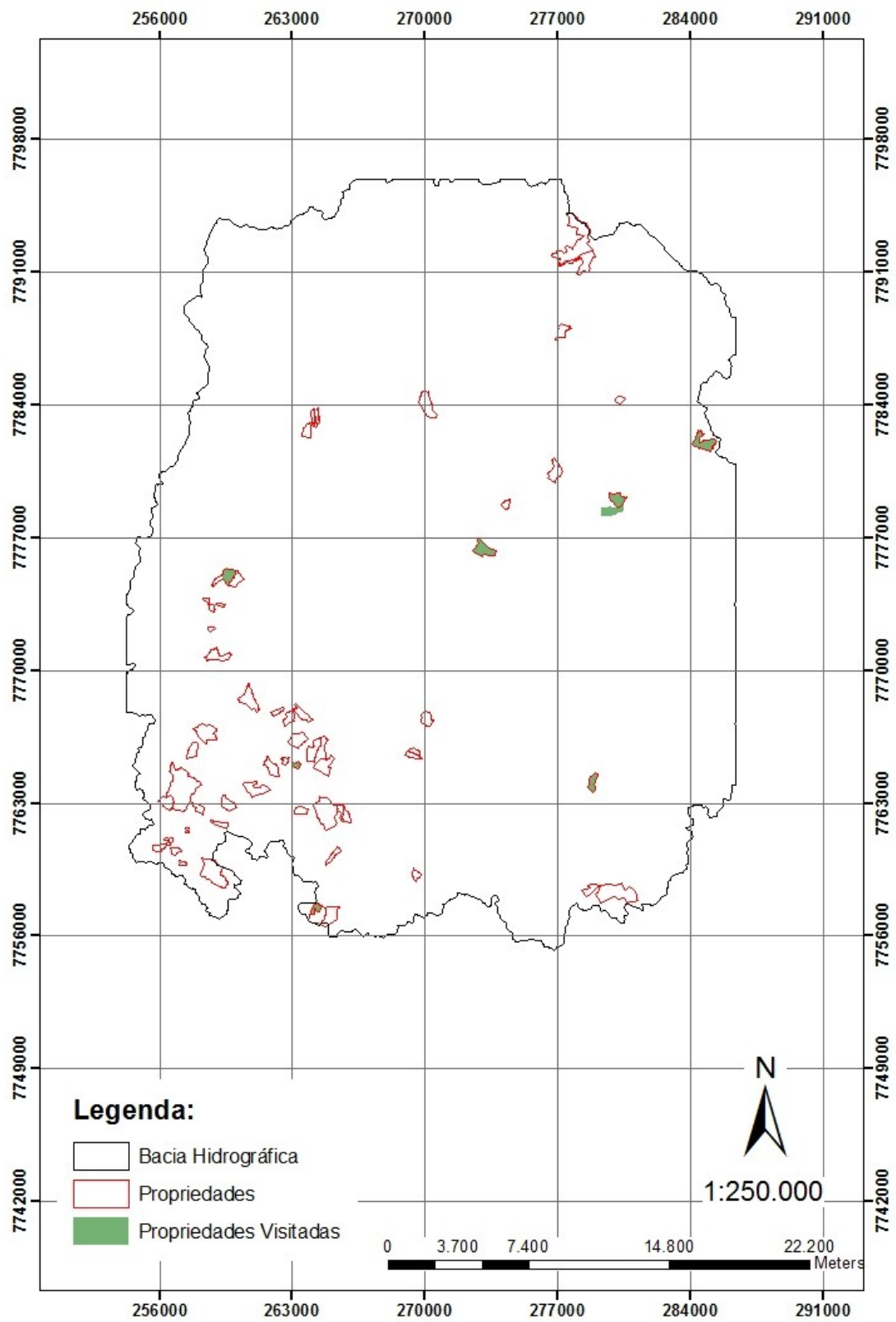
Os pareceres técnicos de avaliação das propriedades quanto à conformidade com os critérios do projeto e para demarcação das áreas incluídas nesta iniciativas foram elaborados pela equipe do IEMA responsável pelo projeto, a partir de visitas às propriedades e da utilização de imagens de satélites (ortofotomosaicos na escala de 1:100.000). Se baseiam em informações sobre a área da propriedade e a área inserida no projeto, informações socioeconômicas, topográficas, hidrológicas e sobre a vegetação. E a demarcação georreferenciada das propriedades foi realizada também pelo órgão gestor, durante a etapa de visita as propriedades.

Ao todo 197 propriedades tiveram suas informações inseridas no banco de dados, distribuídas nas três bacias hidrográficas que integram o projeto, com a proporção de 118 propriedades na bacia hidrográfica do Rio Benevente (60%), 59 na bacia do Rio Guandú (30%) e 20 na bacia do Rio São José (10%).

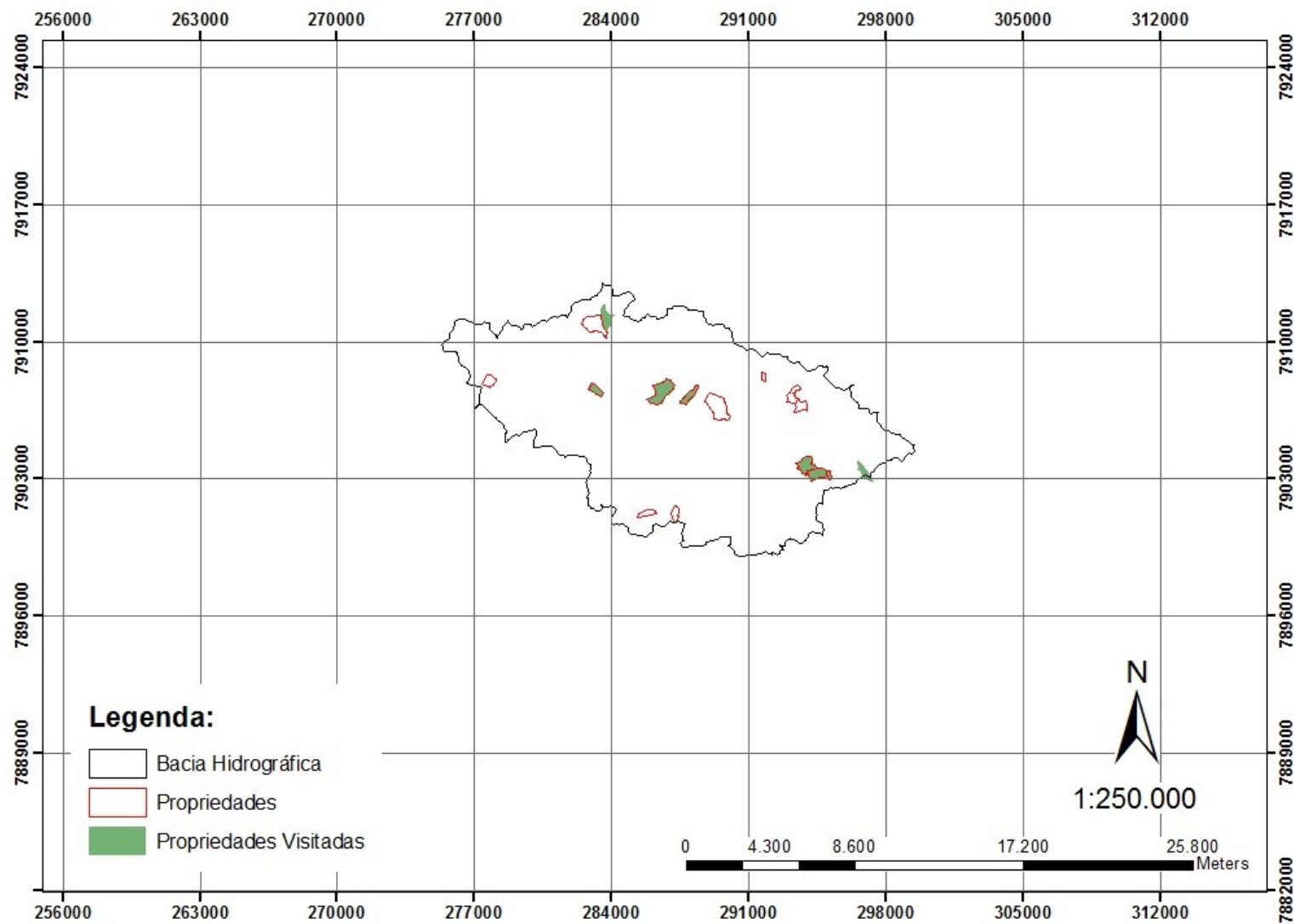
Primeiramente serão mostrados nos mapas 4.1 a 4.3 com as parcelas das bacias hidrográficas em que estão distribuídas todas as propriedades inseridas no projeto de análise. Vale ressaltar que os mapas seguintes já destacam as propriedades selecionadas que serão o objeto central de análise desta pesquisa apenas por uma questão de evidenciar a localização destas em relação ao total de propriedades.



Mapa 4.1: Propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente inseridas no projeto Produtores de Água.



Mapa 4.2: Propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú inseridas no projeto Produtores de Água.



Mapa 4.3: Propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José inseridas no projeto Produtores de Água.

A partir da sistematização do banco de dados das propriedades rurais inseridas no contexto do projeto estadual Produtores de Água foi possível auferir algumas características relevantes sobre as propriedades que fazem parte desta iniciativa. As informações relevantes para o desenvolvimento deste estudo são apresentadas a seguir.

As propriedades inseridas nesta iniciativa estadual, segundo informações medidas em campo, possuem um tamanho médio de 42,58 ha, onde a propriedade de maior área registrada foi de 248,90 ha e a de menor área 1,30 ha. O somatório de áreas que integram o projeto é de 8.387,55 ha. Já quando se observa apenas aquela porção das propriedades que estão contidas no escopo do projeto estadual, ou seja, onde está implementado o mecanismo de PSA, verifica-se que as áreas ao total somam 1.982,45 ha, sendo que a média por propriedade é de 10,06 ha. O tamanho máximo registrado foi de 88,97 ha e o mínimo de 0,49 ha, sendo que estes dois extremos estão localizados na bacia hidrográfica do Benevente.

Considerando a área total das propriedades, a tabela 4.1 mostra os percentuais de uso do solo declarados e através dela pode-se observar que as florestas ocupam uma parcela muito representativa da área total das propriedades, sendo que principalmente no Benevente este uso representa mais de 50% das áreas consideradas. Vale ressaltar que por ser um dos critérios de pagamento das propriedades para participar do projeto, a mata nativa presente é consideravelmente superior nestas áreas selecionadas, do que no percentual considerando toda a área da Bacia Hidrográfica. O Benevente também apresenta uma maior parcela de florestas por conta da análise estar relacionada à declividade, visto que quanto maior a declividade mais restrito é o uso da terra destas, sendo estas quase que preservadas por não haver forma de se utilizar esta área. Já no Guandu e no São José as afirmativas acima também são verdadeiras, mas devido, principalmente a uma condição de declividade relativamente mais plana das Bacias Hidrográficas do Guandu e do São José, em relação ao Benevente, estes apresentam um menor percentual de áreas de floresta.

Tabela 4.1: Percentual do uso do solo declarado no cadastro das propriedades.

Percentual do Uso do Solo Declarado						
	Florestas	Pastagem	Agricultura	Reflorestamento	Sem Uso	Total
Benevente	52,86%	20,38%	19,06%	4,85%	2,86%	100,00%
Guandu	33,64%	18,72%	36,71%	2,19%	8,75%	100,00%
São José	24,95%	31,77%	34,42%	2,10%	6,76%	100,00%
Total	37,15%	23,62%	30,06%	3,05%	6,18%	100,00%

Os demais usos demonstram as características das regiões sobre as formas de uso de produção, seja a agricultura ou a pastagem para criação de gado e afins, mostrando que na parcela total estes dois tipos de uso do solo apresentam-se em percentuais muito semelhantes. E a parcela de reflorestamento, apesar de também ser reconhecida pelo projeto Produtores de Água como um dos tipos possíveis de remuneração, ainda representam uma parcela pequena da área total das propriedades.

A representação percentual dos tipos de culturas e criações realizados nas propriedades são mostrados nas tabelas 4.2 e 4.3, em sequência.

Tabela 4.2: Percentual de propriedades que possuem determinada produção.

	Produção					
	Café	Banana	Cana-de-açúcar	Olerícolas	Eucalipto	Outras
Benevente	61,86%	58,47%	5,08%	7,63%	17,80%	21,19%
Guandú	88,14%	16,95%	8,47%	10,17%	28,81%	23,73%
São José	80,00%	55,00%	30,00%	35,00%	35,00%	20,00%
Total	71,57%	45,69%	8,63%	11,17%	22,84%	21,83%

Segundo as informações cadastrais, pode-se perceber que o café é a cultura predominante nas três regiões, sendo que principalmente na Bacia Hidrográfica do Benevente apresenta-se consorciado com a cultura de banana. O cultivo de cana-de-açúcar é uma atividade muito mais adequada aos tipos de solo das regiões mais a norte do estado, compondo assim muito mais o tipo de cultura da região do São José. A cultura de eucalipto é muito mais acentuada nas propriedades das regiões do Guandú e do São José, por conta da associação com empresas produtoras de celulose, já os presentes na bacia hidrográfica do Benevente são, em geral, para uso pessoal do proprietário. As outras culturas citadas foram em geral, verduras, frutas e legumes.

Tabela 4.3: Percentual de propriedades que possuem determinada criação de animais.

	Criação		
	Gado de Leite	Gado de Corte	Outros
Benevente	25,42%	17,80%	5,93%
Guandú	28,81%	15,25%	6,78%
São José	45,00%	15,00%	20,00%
Total	28,43%	16,75%	7,61%

Já quanto à criação de gado, que é interessante a esta pesquisa, principalmente por conta da associação com a existência de pastagem nas propriedades, pode-se verificar que o padrão nas Bacias Hidrográficas do Benevente e do Guandú são muito semelhantes, apresentando-se em cerca de 25 e 28% das propriedades como gado de leite, 17 e 15% como gado para corte entre 5 e 6% para outras, onde os mais encontrados foram criações de galinhas e porcos. Na região do São José a existência de criação de gado de corte e de outras criações foi bem superior à apresentada nas outras regiões.

Todas estas informações mostradas acima foram importantes para a seleção das propriedades que tiveram a análise da perda de solo detalhada. Os critérios de seleção e o detalhamento das propriedades serão mostrados na seção seguinte.

4.1.3 Caracterização das Propriedades Analisadas

A partir da análise do banco de dados e de informações prestadas pela equipe responsável pelo projeto Produtores de Água, foram selecionadas 30 propriedades distribuídas nas três bacias hidrográficas para uma análise detalhada, relacionada à determinação da perda de solo nestas propriedades. Principalmente os fatores de uso do solo (C) e práticas conservacionistas (P) necessitaram do mapeamento das propriedades que será oriundo desta seção.

Os critérios de seleção das propriedades e as informações coletadas nas visitas a campo são detalhadas nos tópicos a seguir.

4.1.3.1. Critérios de Seleção das propriedades

Os critérios de seleção das propriedades que seriam mapeadas quanto ao tipo de uso do solo e às práticas conservacionistas adotadas levaram em consideração as informações obtidas acima, como a localização dentro da bacia hidrográfica, o tamanho médio das propriedades, o percentual de área de floresta, o tipo de uso do solo, dentre outros. Foram selecionadas propriedades que, principalmente, possuissem diversificação do uso e ocupação do solo.

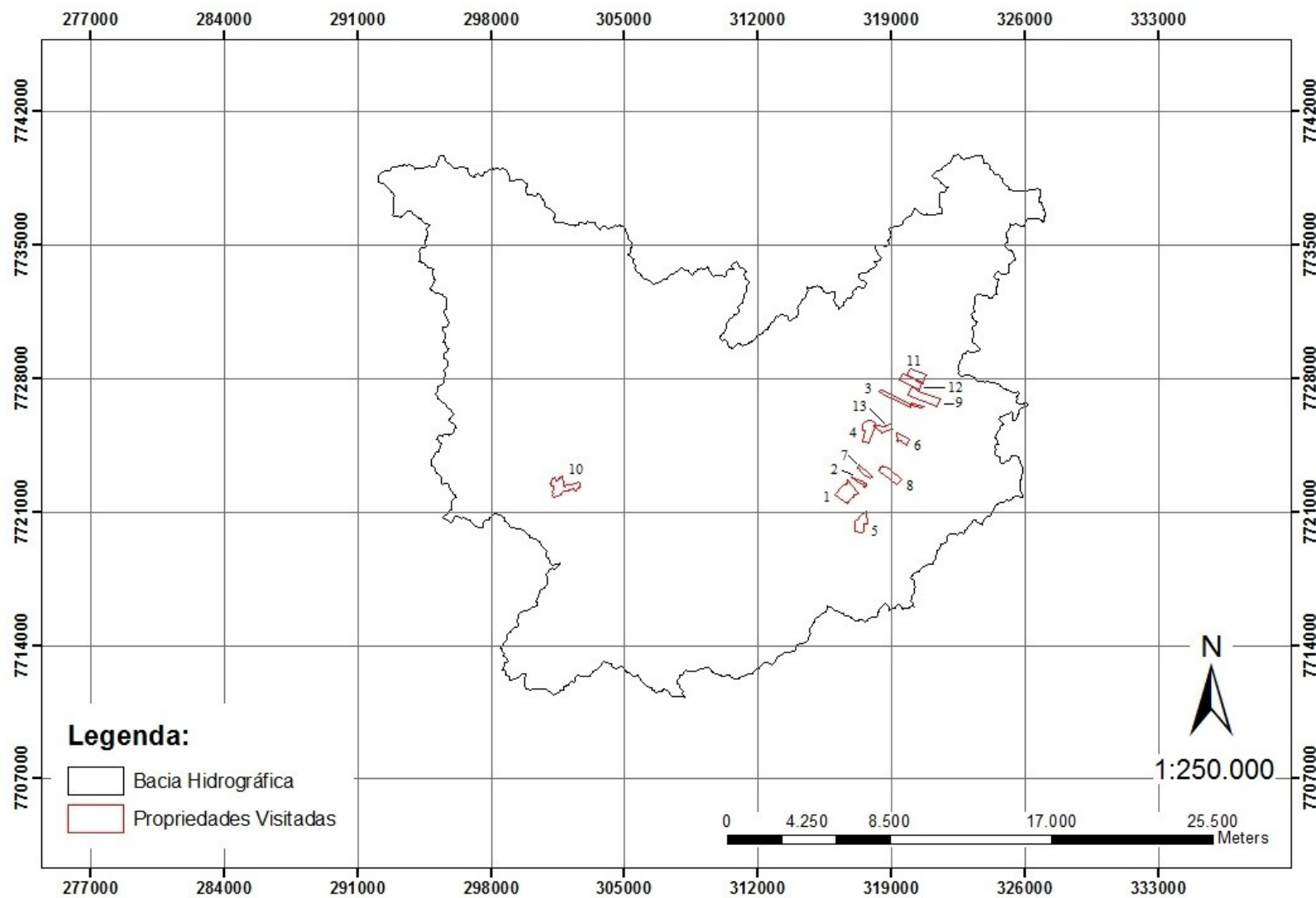
Outro fator de grande influência foi o potencial de receptividade dos proprietários rurais à pesquisa, identificados pelos técnicos do IEMA. Esta seleção de propriedades ainda sofreu alteração devido a critérios de proximidade espacial entre propriedades, para viabilizar a realização da parte de campo da pesquisa. E, teve de ser considerar a possibilidade de se chegar as propriedades por conta do período em que foram realizadas as visitas, período chuvoso. No Benevente, por exemplo, tinha-se inicialmente selecionado duas áreas dentro da bacia para análise, mas por conta de dificuldades de acesso, não foi possível chegar a esta segunda região, sendo necessário portanto, modificar a seleção das propriedades.

Com base nos critérios de seleção e nas alterações necessárias, determinou-se que as propriedades visitas seriam as listadas na tabela 4.4.

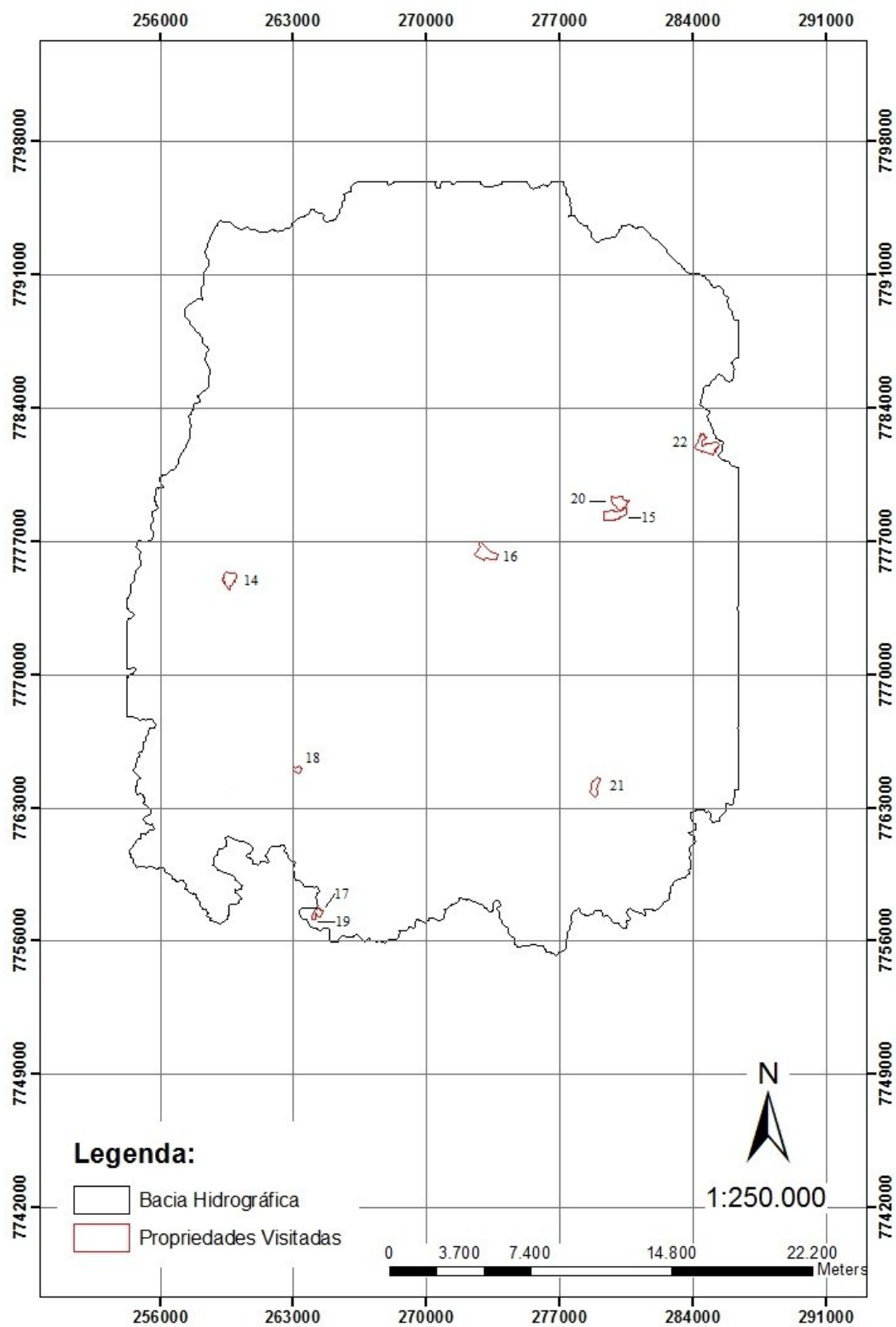
Tabela 4.4: Informações gerais das 30 propriedades selecionadas para o detalhamento do estudo.

Número da propriedade	Município	Bacia Hidrográfica	Área da propriedade (ha)	Área de PSA (ha)
1	Alfredo Chaves	Benevente	72,03	22,26
2	Alfredo Chaves	Benevente	9,12	4,10
3	Alfredo Chaves	Benevente	31,58	17,08
4	Alfredo Chaves	Benevente	54,01	6,88
5	Alfredo Chaves	Benevente	46,17	4,58
6	Alfredo Chaves	Benevente	20,40	5,26
7	Alfredo Chaves	Benevente	19,95	1,03
8	Alfredo Chaves	Benevente	48,41	17,28
9	Alfredo Chaves	Benevente	72,71	17,00
10	Alfredo Chaves	Benevente	77,90	24,00
11	Alfredo Chaves	Benevente	48,41	21,14
12	Alfredo Chaves	Benevente	43,51	14,31
13	Alfredo Chaves	Benevente	23,25	3,28
14	Brejetuba	Guandú	40,63	9,38
15	Afonso Claudio	Guandú	51,35	8,27
16	Afonso Claudio	Guandú	57,87	11,25
17	Brejetuba	Guandú	6,51	1,97
18	Brejetuba	Guandú	11,12	1,61
19	Brejetuba	Guandú	13,57	3,89
20	Afonso Claudio	Guandú	45,10	6,43
21	Afonso Claudio	Guandú	31,21	3,89
22	Afonso Claudio	Guandú	64,35	7,70
23	Alto Rio Novo	São José	54,35	10,59
24	Mantenópolis	São José	24,24	4,05
25	Mantenópolis	São José	51,96	1,97
26	Alto Rio Novo	São José	51,70	1,17
27	Alto Rio Novo	São José	37,89	2,97
28	Mantenópolis	São José	88,46	3,08
29	Mantenópolis	São José	31,26	3,01
30	Alto Rio Novo	São José	31,83	4,25

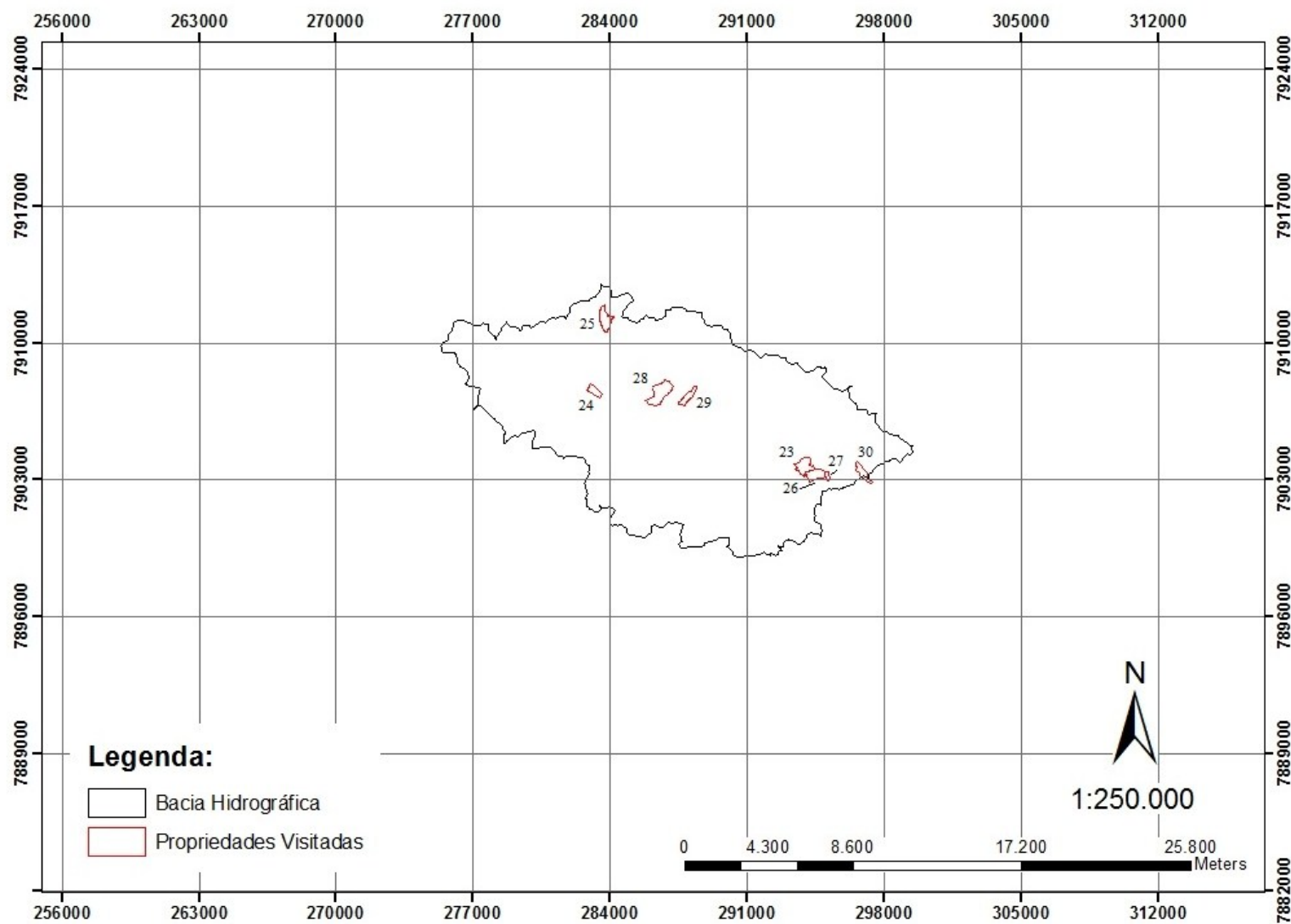
A seguir, apresenta-se os mapas 4.4 a 4.6 de parcelas das três bacias hidrográficas com a localização das propriedades selecionadas para estudo, com a demarcação conforme a numeração mostrada na tabela acima. Para melhor verificação da localização destas propriedades com relação ao total, recomenda-se observar os mapas já apresentados 4.1 a 4.3.



Mapa 4.4: Localização das propriedades visitadas na bacia hidrográfica do Rio Benevente.



Mapa 4.5: Localização das propriedades visitadas na bacia hidrográfica do Rio Guandú.



Mapa 4.6: Localização das propriedades visitadas na bacia hidrográfica do Rio São José

4.1.3.2 Visita às Propriedades Analisadas

As visitas às propriedades previamente selecionadas foram realizadas com a intenção de mapear os usos e manejos do solo e verificar as práticas conservacionistas adotadas pelo proprietários rurais. O roteiro de visita estabelecido foi pensado para que o mapeamento fosse realizado conjuntamente com o proprietário rural, em um processo participativo, e posteriormente fosse realizada a observação das áreas de cultivo e preservação florestal destas propriedades “*in loco*”.

O calendário das etapas de campo foi elaborado por bacia hidrográfica e ocorreu entre os dias 19 a 21 de dezembro de 2011 nas propriedades da bacia do Rio Benevente, entre os dias 10 e 11 de janeiro de 2012 nas propriedades da bacia do Rio São José e nos dias 12 e 13 de janeiro de 2012 nas áreas da bacia do Rio Guandú.

Durante a realização desta etapa nas bacias hidrográficas do Rio São José e Rio Guandú a pesquisa teve o apoio e o acompanhamento de funcionários das prefeituras dos municípios visitados ou instituições parceiras do projeto Produtores de Água, sendo:

- Mantenópolis - Sr. Osmário Pereira de Oliveira, do departamento de Meio Ambiente;
- Alto Rio Novo – Sr. Sebastião Fernandes da Silva, da Secretária de Agricultura;
- Brejetuba – Sra. Sabrina Zandonade, da secretaria de Meio Ambiente;
- Afonso Claudio – Sr. Jancy Aschauer, do Consórcio Rio Guandú.

Nas propriedades localizadas na bacia hidrográfica do Rio Benevente não foi possível contar com esta forma de acompanhamento, fazendo com que a apresentação aos proprietários fosse realizada por meio de carta de recomendação fornecida pela equipe gestora do projeto no IEMA, que consta no Anexo 1.

O procedimento de mapeamento das propriedades foi realizado com o auxílio de mapas com as imagens aéreas georreferenciadas das propriedades, previamente elaboradas, com base na delimitação realizada pelo IEMA no processo de seleção das áreas para a inclusão no projeto. Foram realizados 30 mapeamentos, e por conta da grande quantidade eles não foram anexados neste trabalho, apresentando apenas um exemplo que consta no Anexo 2.

Através das informações fornecidas pelos proprietários foram segmentadas as áreas no interior da propriedade, conforme o tipo de uso e manejo realizado do solo, além das práticas conservacionistas. As imagens 4.6 e 4.7 são exemplos desta etapa.



Figura 4.6: Mapeamento do uso e ocupação do solo da propriedade 06.



Figura 4.7: Mapeamento do uso e ocupação do solo da propriedade 23.

Após o mapeamento para corroborar e demarcar a segmentação realizada na propriedade rural foram realizadas visitas às áreas mais representativas, sendo principalmente observada as áreas de cultivo e de preservação florestal. Esta etapa era realizada com o auxílio de um GPS para marcação de pontos que demarcassem áreas de divisas. Alguns exemplos são mostrados a seguir:

A imagem 4.8 apresenta a nascente da propriedade 02, localizada na bacia do Rio Benevente, que está incluída no projeto Produtores de Água.



Figura 4.8: Observação da nascente inserida no projeto Produtores de Água na propriedade 02.

As figuras 4.9 e 4.10 mostram diferentes estágios de cultivo de café verificados nas propriedades, com a observação da respectiva forma de manejo do mesmo.



Figura 4.9: Observação das condições das praticas conservacionistas adotadas no cultivo do café na propriedade 28.



Figura 4.10: Observação das condições das praticas conservacionistas adotadas no cultivo do café na propriedade 23.

Vale ressaltar também que durante o procedimento de mapeamento do uso do solo das propriedades também foram verificadas a localização das nascentes e dos cursos d'água para eventuais adaptações nos dados geoprocessados fornecidos pelo IEMA.

4.2. Procedimentos de Determinação dos Coeficientes de Perda de Solo da EUPS nas Propriedades Analisadas

Os coeficientes componentes da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) nesta pesquisa foram agrupados em conjuntos com o objetivo de facilitar a obtenção dos resultados esperados e proporcionar uma melhor visualização das características comuns. Os grupos formados foram: o fator topográfico (LS); o fator de erodibilidade da chuva e erosividade da chuva (RK); e o fator de uso do solo e práticas conservacionistas (CP).

Todo o procedimento de determinação desses grupos de fatores foi realizado com o auxílio de uma ferramenta de geoprocessamento, o software ArcGis 9.3. Este programa foi o suporte para as operações de cálculo dos coeficientes da EUPS, e também para a geração dos mapas.

Os parâmetros LS e RK foram determinados para toda a extensão das três regiões hidrográficas analisadas, que abrange a área de todas as 30 propriedades relacionadas na tabela 4.5. Já o fator CP, por necessitar de detalhamento a nível de interpretação visual de imagens e visitas de campo, foi mensurado apenas para essas 30 propriedades. Deste modo, tem-se que o potencial de perda de solo (A), enquanto fator multiplicativo de todos os fatores, só pôde ser calculado para as referidas 30 propriedades.

A seguir serão detalhados os procedimentos de cálculo de cada conjunto de fatores componentes da EUPS.

4.2.1 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico é composto pelos fatores de declividade (S) e comprimento de rampa (L). Para o atendimento dos objetivos desta pesquisa de comparar diferentes metodologias foram realizados dois procedimentos de cálculo do fator LS. Um método de determinação seguiu a metodologia que é atualmente utilizada no projeto Produtores de Água (método I) e a outra forma de cálculo é a metodologia desenvolvida por Mitsova (Rodriguez e Soarez, 2010; Mitsova, 2012), que utiliza técnicas de geoprocessamento para determinação destes parâmetros (método III).

Adicionalmente, foi realizado um cálculo híbrido entre as duas metodologias testadas com a intenção de avaliar melhor o comportamento isolado dos parâmetros componentes (método II). Utilizou-se a variabilidade do fator de declividade permitida pela metodologia proposta, mas se manteve o fator L fixo em 100m.

A área de análise deste fator, por conta das simplificações realizadas pela metodologia I, que só foi possível de ser aplicada na parcela da propriedade que atualmente é considerada no projeto de PSA, ficou restrita a esta região. Apenas a metodologia III foi aplicada a toda a área da propriedade com a finalidade de compor a determinação do potencial de perda de solo das mesmas.

Os tópicos a seguir detalham os procedimentos de determinação das metodologias de cálculo do fator topográfico. A primeira etapa, comum a ambas as metodologias, foi a determinação do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto (MDEHC) e do mapa de declividade.

4.2.1.1. Determinação do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto e do Mapa de Declividade.

Para confecção do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto (MDEHC) foram necessários os seguintes mapas: curvas de nível e pontos cotados – obtidos das cartas topográficas do IBGE; hidrografia e massa d'água – informados pelo GEOBASES/IEMA. As informações de hidrografia e massa d'água foram adaptadas conforme dados apontados pela etapa de mapeamento de uso do solo. Este procedimento foi executado com o software ArcGIS 9.3, com a ferramenta “Topo to Raster”.

O mapa gerado em formato raster com pixels de 10 m x 10 m foi utilizado como base para o cálculo de ambos os coeficientes componentes deste fator. O critério adotado para a definição da resolução constou de uma boa medida de área aproximada dos menores alvos mapeados no mapa de uso e ocupação do solo.

A partir do MDEHC, elaborou-se, com o auxílio da ferramenta “Spatial Analyst Tools” o mapa de declividade das áreas de estudo, seguido da reclassificação conforme recomendações de classificação do relevo da EMBRAPA (2006).

4.2.1.2. Determinação do Fator Topográfico Utilizado Atualmente no Produtores de Água

Como já mostrado no tópico 3.1.1.3, o método de cálculo do fator topográfico atualmente no projeto Produtores de Água segue como base a equação estabelecida por Bertoni e Lombardi Neto (1990) mostrada abaixo:

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (3.5)$$

Onde:

L: comprimento médio da rampa (m);

S: declividade (%).

Mas, com o intuito de simplificar os aspectos operacionais, o projeto fixa o parâmetro L como uma constante no valor de 100 m, e apenas permite três faixas de variações possíveis de declividade (20-45%, 45-75%, 75-100%).

Para determinação destes coeficientes, o mapa de declividade das áreas analisadas foi segmentado com base nestas três variações possíveis e a estas parcelas foram atribuídos os respectivos valores determinados pela metodologia do projeto, respectivamente, 0,27; 0,55 e 0,86. Após esta etapa, com o auxílio da ferramenta “Raster Calculator” foi aplicada a equação 3.5, utilizando as simplificações estabelecidas.

4.2.1.3. Determinação de LS Conforme Metodologia Proposta

A metodologia proposta para o cálculo do fator LS segue as recomendações demonstradas por Mitsova (2012). A partir do MDEHC gerado, e utilizando o já descrito mapa de declividade, este método propõe que, diferentemente do estabelecido na concepção da EUPS, o fator L, que representa o comprimento da rampa, seja determinado com o auxílio de ferramentas de

geoprocessamento, através do mecanismo de cálculo do fluxo acumulado nos pixels. Este procedimento está detalhado a seguir.

O cálculo do fluxo acumulado nos pixels atribui valor ao direcionamento da vertente e o acumula a medida que mais áreas contribuem para determinado ponto da rampa. A figura 4.10 esquematiza o funcionamento desta atribuição. Nesta pesquisa calculou-se o fluxo acumulado como uma forma de relativizar o comprimento da vertente de uma forma que pudesse ser automatizada pelo mecanismo de geoprocessamento. Esta função é realizada com a ferramenta “Hydrology”.

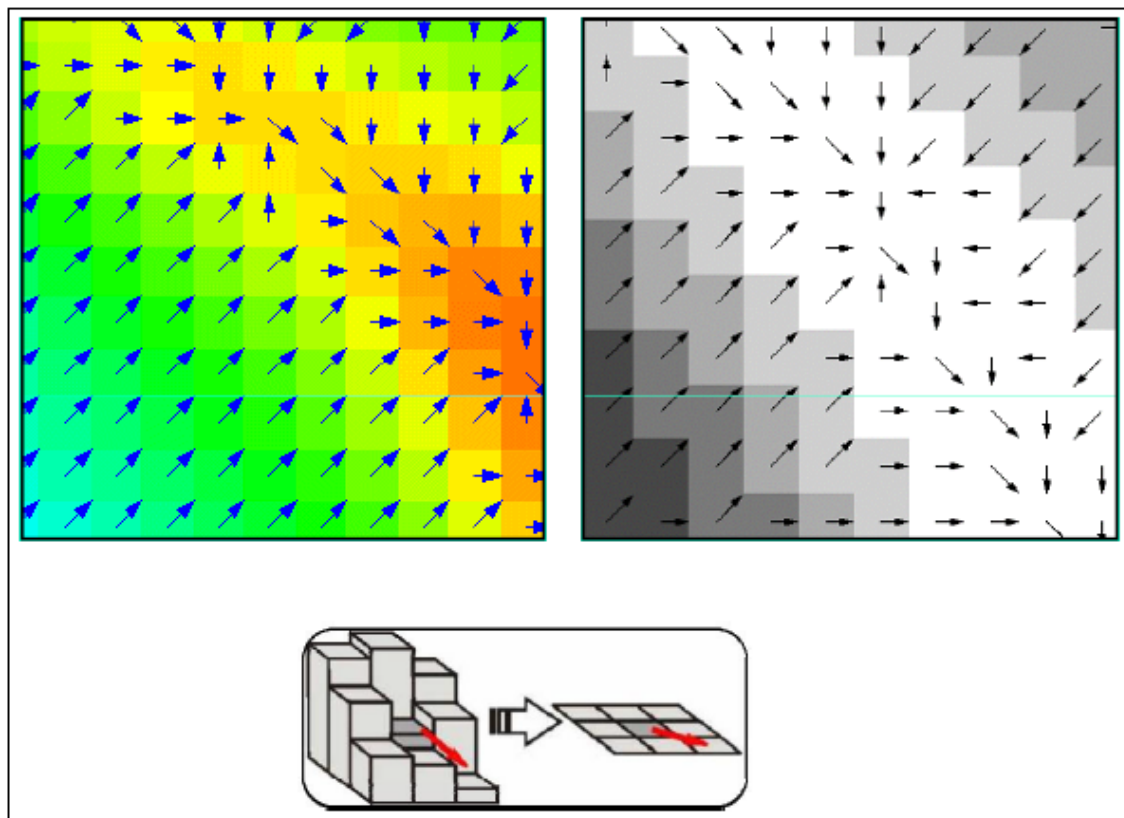


Figura 4.11: Esquema do atributo de fluxo acumulado. Fonte: Oliveira, 2011.

Por fim, aplica-se a equação 3.8, utilizando a ferramenta “Raster Calculator”, para cálculo do fator LS pela metodologia proposta.

4.2.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K) e Erosividade da Chuva (R)

Os procedimentos para determinação dos fatores de Erodibilidade do Solo (K) e Erosividade da Chuva (R) estão descritos separadamente nos tópicos seguintes. Após o cálculo separado de cada fator, eles foram agrupados por um processo de multiplicação para que o fator RK, necessário ao atendimento de um objetivo específico, fosse estabelecido.

4.2.2.1 Fator Erosividade da Chuva (R)

A metodologia utilizada para obter o fator erosividade da chuva (R) foi a equação de Leprun (1981), equação 3.4, indicada para a região do Espírito Santo, conforme figura 3.2. Esta equação utiliza a série histórica de dados de pluviômetros para determinar o fator em questão. A seguir estão listadas (tabelas 4.5 a 4.7) as estações pluviométricas utilizadas neste trabalho, todas de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), selecionadas por estarem localizadas no interior ou próximas das três regiões analisadas.

Tabela 4.5: Estações pluviométricas consideradas para determinação de R da bacia hidrográfica do Rio Benevente.

Código	Estação Pluviométrica	Latitude	Longitude	Série Histórica
2040001	Fazenda Jucuruaba (*)	-20°24'54.00	-40°29'07.08	1951 a 2011
2040004	Guarapari	-20°39'07.92	-40°30'30.96	1947 a 2011
2040005	Iconha	-20°47'00.96	-40°49'32.88	1947 a 2011
2040011	Matilde (*)	-20°33'24.12	-40°48'41.04	1949 a 2011
2040012	Marechal Floriano (*)	-20°24'42.84	-40°40'55.92	1949 a 2011
2040017	Duas Barras (*)	-20°43'41.16	-40°52'57.00	1957 a 2011
2040020	Vila Nova Maravilha (*)	-20°35'15.00	-40°56'57.12	1964 a 2011
2040023	São Rafael	-20°17'47.04	-40°56'02.04	1970 a 2011
2041010	Jacigua (*)	-20°42'06.84	-41°00'59.04	1947 a 2011

Nota: (*) correspondem as estações pluviométricas que estão situadas no interior da bacia hidrográfica.

Tabela 4.6: Estações pluviométricas consideradas para determinação de R da bacia hidrográfica do Rio Guandú.

Código	Estação Pluviométrica	Latitude	Longitude	Série Histórica
1840000	Itarana	-19°52'27.84	-40°52'27.84	1947 a 2011
1941008	Laranja da Terra (*)	-19°54'03.96	-41°03'29.16	1948 a 2011
1941009	Ibituba	-19°41'27.96	-41°01'12.00	1967 a 2011
1941019	Mutum	-19°48'39.96	-41°26'16.08	1983 a 2011
2040008	Garraão	-20°08'35.88	-40°58'31.08	1947 a 2011
2041011	Conceição do Castelo	-20°21'07.92	-41°14'21.84	1948 a 2011
2041020	Aracê	-20°22'00.12	-41°03'39.96	1963 a 2011

Nota: (*) corresponde a estação pluviométrica que está situada no interior da bacia hidrográfica.

]

Tabela 4.7: Estações pluviométricas consideradas para determinação de R da bacia hidrográfica do Rio São José.

Código	Estação Pluviométrica	Latitude	Longitude	Série Histórica
1840000	Águia Branca	-18°59'08.16	-40°44'45.96	1969 a 2011
1940004	Barra de São Francisco	-18°45'12.96	-40°53'36.96	1947 a 2011
1940009	Pancas	-19°13'13.08	-40°51'11.88	1957 a 2011
1941004	Resplendor	-19°20'35.16	-41°14'45.96	1941 a 2011
1941005	Barra do Cuité - jusante	-19°03'42.12	-41°31'58.08	1947 a 2011
1941012	Alto Rio Novo (*)	-19°03'33.12	-41°01'39.00	1970 a 2011

Nota: (*) corresponde a estação pluviométrica que está situada no interior da bacia hidrográfica.

Os dados provenientes destas estações pluviométricas foram trabalhados no Microsoft Excel para cálculo das precipitações médias mensais (p) e precipitações médias anuais (P). Na sequência obteve-se as médias mensais do índice de erosão (EI), de acordo com a equação proposta por Leprun (1981) e o fator R, que corresponde ao somatório dos EI. As tabelas 4.8 a 4.10 apresentam os valores das precipitações médias mensais (p) e anuais (P) e os coeficientes de erosividade da chuva (R) para cada estação pluviométrica.

Tabela 4.8: Tabela com as precipitações médias mensais, médias anuais e os valores de R das estações pluviométricas utilizadas para cálculo na bacia hidrográfica do Rio Benevente.

Bacia Hidrográfica do Rio Benevente		Precipitação Média Mensal (p)												Precipitação Média Anual (P)	R
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
2040001	Fazenda Jucuruaba	151,02	93,53	138,11	100,85	71,36	52,23	62,45	49,99	76,81	119,01	183,83	195,96	1309,16	5780,40
2040004	Guarapari	119,65	71,50	111,67	107,95	97,87	63,06	71,67	58,24	88,28	117,74	179,60	176,59	1254,98	5550,46
2040005	Iconha	165,98	99,47	158,67	143,48	94,39	57,04	76,01	61,60	101,10	151,61	252,09	237,13	1619,50	6949,88
2040011	Matilde	205,30	140,11	220,27	149,53	95,93	63,01	79,20	61,09	100,05	146,46	246,68	265,35	1778,23	7683,60
2040012	Marechal Floriano	186,74	117,64	182,26	117,40	81,70	64,66	71,99	64,05	88,63	131,81	228,87	231,85	1577,71	6861,13
2040017	Duas Barras	208,01	130,93	179,30	152,79	82,07	54,23	77,45	60,37	97,36	142,96	241,95	249,75	1657,81	7437,85
2040020	Vila Nova maravilha	242,52	166,89	205,74	161,18	120,18	83,97	104,99	96,88	137,01	187,10	264,96	289,69	2052,91	8447,82
2040023	São Rafael	165,78	97,65	159,88	88,67	47,92	24,07	30,18	31,89	48,96	113,36	181,82	209,20	1198,21	6056,23
2041010	Jacigua	194,04	140,85	175,41	150,04	82,46	51,18	64,11	51,47	82,61	126,81	231,02	261,62	1619,24	7218,53

Tabela 4.9: Tabela com as precipitações médias mensais, médias anuais e os valores de R das estações pluviométricas utilizadas para cálculo na bacia hidrográfica do Rio Guandú.

Bacia Hidrográfica do Rio Guandú		Precipitação Média Mensal (p)												Precipitação Média Anual (P)	R
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
1840000	Itarana	175,26	106,89	126,77	68,66	29,94	19,82	17,91	15,32	30,13	93,86	189,60	239,03	1106,70	6308,98
1941008	Laranja da Terra	171,73	97,68	118,76	58,92	31,93	19,02	16,72	13,41	29,45	99,16	174,94	220,88	1056,29	5936,75
1941009	Ibituba	137,83	71,39	105,32	52,36	29,52	14,11	10,25	14,51	27,09	78,60	168,26	182,25	888,66	5220,39
1941019	Mutum	183,87	87,78	132,76	56,34	32,00	12,33	6,53	19,77	40,99	89,63	184,19	260,86	1103,82	6505,18
2040008	Garrafão	193,36	118,67	142,41	73,16	39,08	26,07	26,75	20,63	41,28	106,09	186,67	234,25	1206,92	6406,45
2041011	Conceição do Castelo	198,05	140,21	171,41	112,52	54,47	28,62	32,84	26,92	59,74	124,60	197,19	229,56	1383,66	6720,90
2041020	Aracê	209,80	123,86	159,08	98,66	45,00	20,40	27,03	25,01	48,64	120,11	212,06	251,23	1332,97	6986,10

Tabela 4.10: Tabela com as precipitações médias mensais, médias anuais e os valores de R das estações pluviométricas utilizadas para cálculo na bacia hidrográfica do Rio São José.

Bacia Hidrográfica do Rio São José		Precipitação Média Mensal (p)												Precipitação Média Anual (P)	R
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
1840000	Águia Branca	193,70	118,91	145,74	85,80	36,74	29,47	41,52	33,45	44,27	99,63	194,15	238,53	1248,99	6509,52
1940004	Barra de São Francisco	163,69	96,45	115,01	50,41	31,65	22,37	25,28	21,08	33,14	80,74	158,90	193,80	988,71	5462,01
1940009	Pancas	213,82	115,54	132,60	70,58	34,91	24,66	38,40	26,61	44,72	91,16	174,67	210,74	1170,67	6209,83
1941004	Resplendor	190,96	92,76	110,03	58,67	24,44	13,62	12,93	11,29	29,77	89,48	189,98	224,12	1047,21	6198,68
1941005	Barra do Cuité - jusante	170,57	87,81	96,98	44,05	18,73	10,93	8,04	10,75	28,55	76,18	158,68	193,36	903,33	5512,61
1941012	Alto Rio Novo	134,63	75,07	105,32	58,75	31,18	16,48	20,64	21,99	36,66	78,49	163,76	169,03	916,81	4977,53

Como última etapa do processo de determinação do fator R, foram inseridos os valores do fator R na tabela de atributos do shapefile de pontos correspondentes às estações pluviométricas, com auxílio do software ArcGis 9.3, para, em seguida, serem interpolados pelo método de Krigagem Ordinária, mais indicado para representação de fenômenos chuvosos, segundo Farinasso *et al.* (2006). Este procedimento foi realizado visando à composição de uma malha regular do parâmetro que cobrisse toda a área de estudo.

4.2.2.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)

A determinação dos tipos de solo componente das bacias hidrográficas do Rio Benevente, Guandú e São José foi feita a partir dos mapeamentos pedológicos existentes para as regiões. Este método foi escolhido devido à complexidade da obtenção direta, assim como da utilização de métodos indiretos para o cálculo deste fator pois, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), este fator necessita de um período longo de experimentação em campo.

A primeira etapa, então, consistiu na obtenção dos mapas pedológicos das áreas de estudo. O mapeamento utilizado foi o realizado pelo Projeto RADAMBRASIL (1987) recortado para as áreas consideradas e reajustado de acordo com a reclassificação dos solo, recomendada por EMBRAPA (2006).

Após a determinação das classes topológicas presentes em cada área, foram coletados na literatura os respectivos valores de K e inseridos na tabela de atributos dos respectivos tipos de solo.

4.2.3 Fator Uso e Ocupação do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

Os fatores de uso e ocupação do solo e de práticas conservacionistas foram determinados através do mapeamento de uso e ocupação do solo, realizado por fotointerpretação visual, verificação das informações do banco de dados e campanhas de campo nas propriedades selecionadas.

A etapa inicial consistiu na fotointerpretação visual das imagens aéreas das três regiões de análise. Para tanto, utilizou-se o software de geoprocessamento ArcGis 9.3 para segmentação do ortofotomosaico concedido pelo IEMA. Este ortofotomosaico é um produto cartográfico digital 1:15.000 PEC “A” de resolução espacial de 1m, elaborado a partir de um levantamento aerofotogramétrico na escala 1:35.000 realizado em junho de 2007 sobre a região sul e maio/junho 2008 sobre a região norte do estado do Espírito Santo (IEMA, 2012).

Após esta primeira etapa foram realizadas as campanhas de campo de visita às propriedades, para validação das informações interpretadas e aperfeiçoamento do mapeamento junto aos proprietários, verificando a delimitação das parcelas da propriedade quanto aos usos e manejos realizados sobre a mesma, conforme já descrito em tópico anterior.

Com o mapeamento do diagnóstico realizado, os fatores C e P correspondentes aos usos e práticas de conservação, foram obtidos na literatura, e alimentados no banco de dados georreferenciado. A tabela abaixo explicita os valores utilizados para o fator C e as referidas fontes bibliográficas.

Tabela 4.11: Fator C de acordo com os usos do solo e as respectivas referências bibliográficas.

Uso e Ocupação do Solo	C	FONTE
Alagado	0	-
Área edificada	0	-
Banana	0,08700	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Cafê novo	0,30630	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Cafê velho	0,08700	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Cana de açúcar	0,30660	Ribeiro e Alves (2007) apud Poloni (2010)
Capoeira (cl.2)	0,00040	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Eucalipto	0,04700	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Frutíferas	0,01000	Tomazoni et al. (2005)
Macega (cl.3)	0,00500	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Massa alagada	0	-
Mata ciliar	0,01200	Farinaso et al. (2006)
Mata nativa (cl.1)	0,00004	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Milho	0,10750	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Olericultura	0,15150	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Pastagem	0,01000	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)
Pastagem degradada	0,05000	Braga Da Silva et al. 2010
Rocha com vegetação rupestre	0	-
Solo exposto	1,00000	Lombardi Neto (1999) apud Luppi (2002)

Quanto às práticas de conservação (P) verificadas para usos diagnosticados como massa d'água, alagado, área edificada e rocha com vegetação rupestre, atribuíram-se valor zero a todas, pois compreendeu-se que são classes onde a perda de solo é mínima. Para as demais circunstâncias observadas, utilizou-se como base a tabela 3.4, que expõe os coeficientes das principais práticas conservacionistas. Deste modo, onde foram identificados cordões de vegetação permanente, o valor de P correspondente adotado foi de 0,2, e onde se visualizou a existência de culturas sob a forma de plantio em contorno e plantio em contorno com alternância de capinas, o valor P foi estabelecido conforme a variação na declividade da região, de acordo com a tabela 3.5. Os demais tipos de uso do solo tiveram o fator P considerado como o correspondente à forma de plantio morro abaixo (1,0), por não terem sido encontradas evidências de adoção de alguma prática de conservação do solo.

Após a determinação do fator CP, visando a proposição de cenários mais conservacionistas de uso do solo, com a redução da perda de solo, foram simulados alguns cenários que serão detalhados a seguir.

4.2.3.1 Determinação do cenário alternativo com a adoção de práticas conservacionistas para reduzir a perda de solo potencial

A adoção de um cenário alternativo que promovesse um uso do solo mais conservacionista foi pensado para atender aos objetivos específicos da pesquisa, que pressupõe impactos mais efetivos sobre a perda de solo potencial com a proposição de alteração do tipo de uso do solo atual para a adoção de usos mais conservacionistas. Atualmente, o projeto Produtores de Água enfatiza apenas a manutenção e preservação das matas presentes, deixando de considerar áreas que resultam em bastante impacto no potencial de perda de solo.

Os critérios utilizados para a proposição de usos do solo foram: não alterar uso do solo em área produtivas; transformar áreas sem utilização em macegas (estágio inicial de recuperação florestal); café novo limpo por café consorciado; e em outras áreas propor práticas conservacionistas como o plantio em contorno e o terraceamento.

4.2.4 Estimativa dos Valores de Potencial de Perda de Solo Anual das Propriedades

Após a criação de todos os mapas necessários para o cálculo do potencial de erosão das propriedades, foram obtidos os fatores para o cálculo da EUPS (perda de solo anual por células), para todos os cenários estudados. Ou seja: nas três metodologias de cálculo de LS, considerando a área da propriedade atualmente inserida no projeto Produtores de Água; e para as duas situações de uso e manejo do solo consideradas para a área total da propriedade. A tabela 4.12 apresenta a descrição, considerando os parâmetros que variam, das análises de perda de solo realizadas.

Tabela 4.12: Descrição de todas as simulações de perda de solo realizadas.

Simulação	Metodologia de LS	Tipo de CP	Área considerada
01	I	Atual	Área da propriedade atualmente inserida no projeto de PSA
02	II	Atual	Área da propriedade atualmente inserida no projeto de PSA
03	III	Atual	Área da propriedade atualmente inserida no projeto de PSA
04	III	Atual	Área total das propriedades
05	III	Alternativo	Área total das propriedades

Como síntese das análises realizadas sobre os fatores componentes da EUPS apresenta-se a seguir o fluxograma desta etapa da metodologia, figura 4.12.

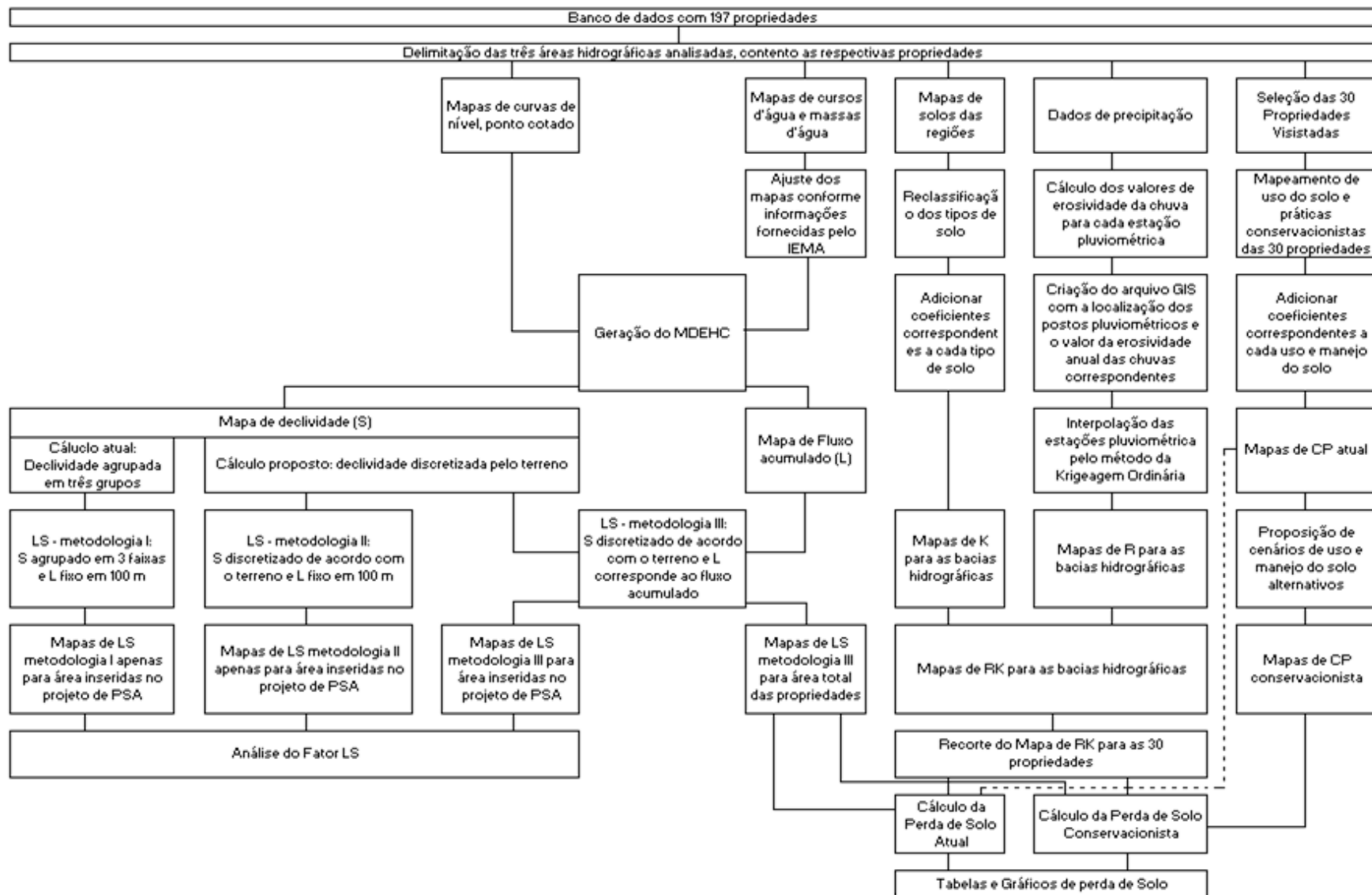


Figura 4.12: Fluxograma da metodologia empregada nas análises dos fatores da EUPS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados de perdas de solo estimadas pela aplicação da EUPS nas 30 propriedades selecionadas neste estudo e a variabilidade dos parâmetros LS, RK e CP em função das considerações realizadas sobre cada um. Com base nestas respostas foram discutidas propostas de diretrizes para a utilização da versão aperfeiçoada de procedimento metodológico do emprego da EUS no escopo do projeto Produtores de Água. O ponto inicial desta análise é a determinação dos fatores componentes da EUPS que está apresentado a seguir na seção 5.1.

5.1. Determinação dos Fatores Componentes da EUPS para as Propriedades Piloto Utilizadas no Estudo

Com a finalidade de gerar os dados necessários para a avaliação de impacto dos fatores LS, RK e CP na estimativa de perda de solo da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), equação 3.1, tais coeficientes foram obtidos para cada uma das 30 propriedades analisadas no desenvolvimento do presente estudo. Apresentam-se a seguir os resultados obtidos para cada conjunto considerado de fator da EUPS.

5.1.1 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) é composto pelos parâmetros de comprimento da rampa (L) e declividade do terreno (S). No presente estudo, a determinação destes fatores variou, considerando inicialmente uma metodologia mais rústica, que é a atualmente utilizada pelo projeto estadual de pagamento por serviços ambientais (metodologia I), passando por dois refinamentos, sendo o primeiro para permitir a variação da declividade do terreno na análise (metodologia II) e o segundo para permitir a variação do comprimento da rampa, sendo necessário para isso, alterar a formulação utilizada (metodologia III). Abaixo, para melhor entendimento dos métodos utilizados para a determinação do LS, apresenta-se o quadro 5.1.

	Determinação do LS		
	Método I	Método II	Método III
Equação	Bertoni (1990)	Bertoni (1990)	Mitsova (2012)
S	3 faixas de declividade (20-45%, 45-75% e acima de 75%), onde os valores adotados foram os de centro de cada classe	Variável conforme MDEHC gerado para o terreno.	Variável conforme MDEHC gerado para o terreno.
L	Fixo em 100 m	Fixo em 100 m	Variável conforme MDEHC gerado para o terreno.

Quadro 5.1: Detalhamento dos métodos utilizados para a determinação do LS.

A obtenção dos parâmetros de declividade (S) e, conseqüentemente, do fator topográfico (LS), de acordo com as definições de cada método considerado no estudo, é apresentada nesta seção.

- Declividade (S)

De acordo com os procedimentos estabelecidos pela metodologia I, as áreas das propriedades onde hoje se aplica o projeto estadual de PSA, foram segmentadas de acordo com as três faixas de declividade adotadas (20 – 45%, 45 – 75%, 75 – 100%), e em seguida se atribuiu a estas áreas o valor central da classe a que pertencesse. Assim, ponderando-se os valores utilizados em cada região das propriedades, teve-se como resultado os valores médios de declividade demonstrados na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Declividade média das áreas analisadas de acordo com a metodologia I

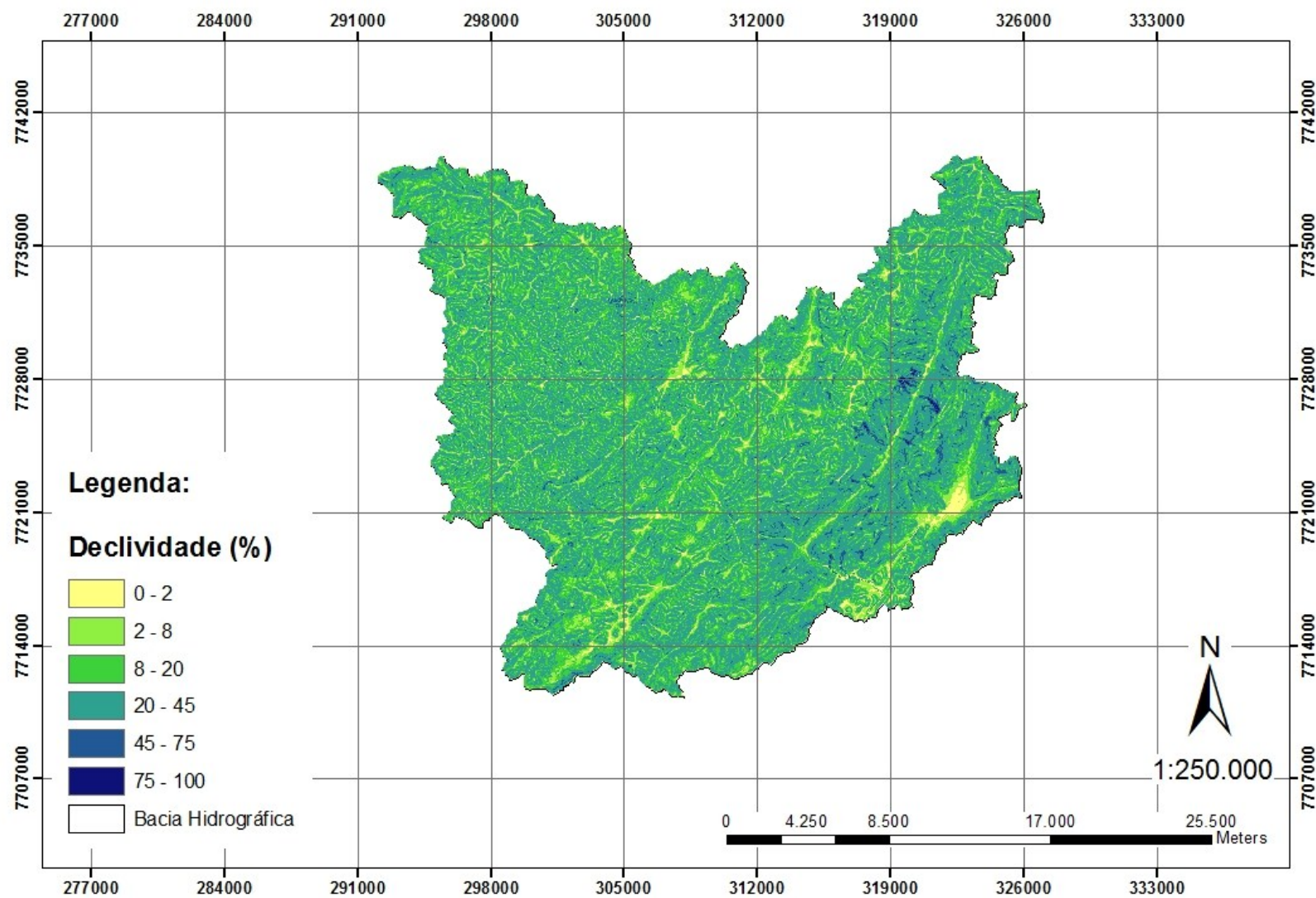
Propriedade	Declividade média metodologia I (%)	Propriedade	Declividade média metodologia I (%)
1	52,18	16	53,80
2	56,61	17	62,43
3	41,45	18	58,43
4	70,82	19	64,26
5	50,01	20	47,11
6	50,31	21	52,08
7	59,31	22	49,91
8	39,43	23	46,09
9	48,44	24	46,64
10	34,49	25	46,45
11	46,53	26	72,44
12	49,99	27	38,72
13	58,40	28	47,69
14	40,92	29	37,22
15	50,03	30	45,57

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

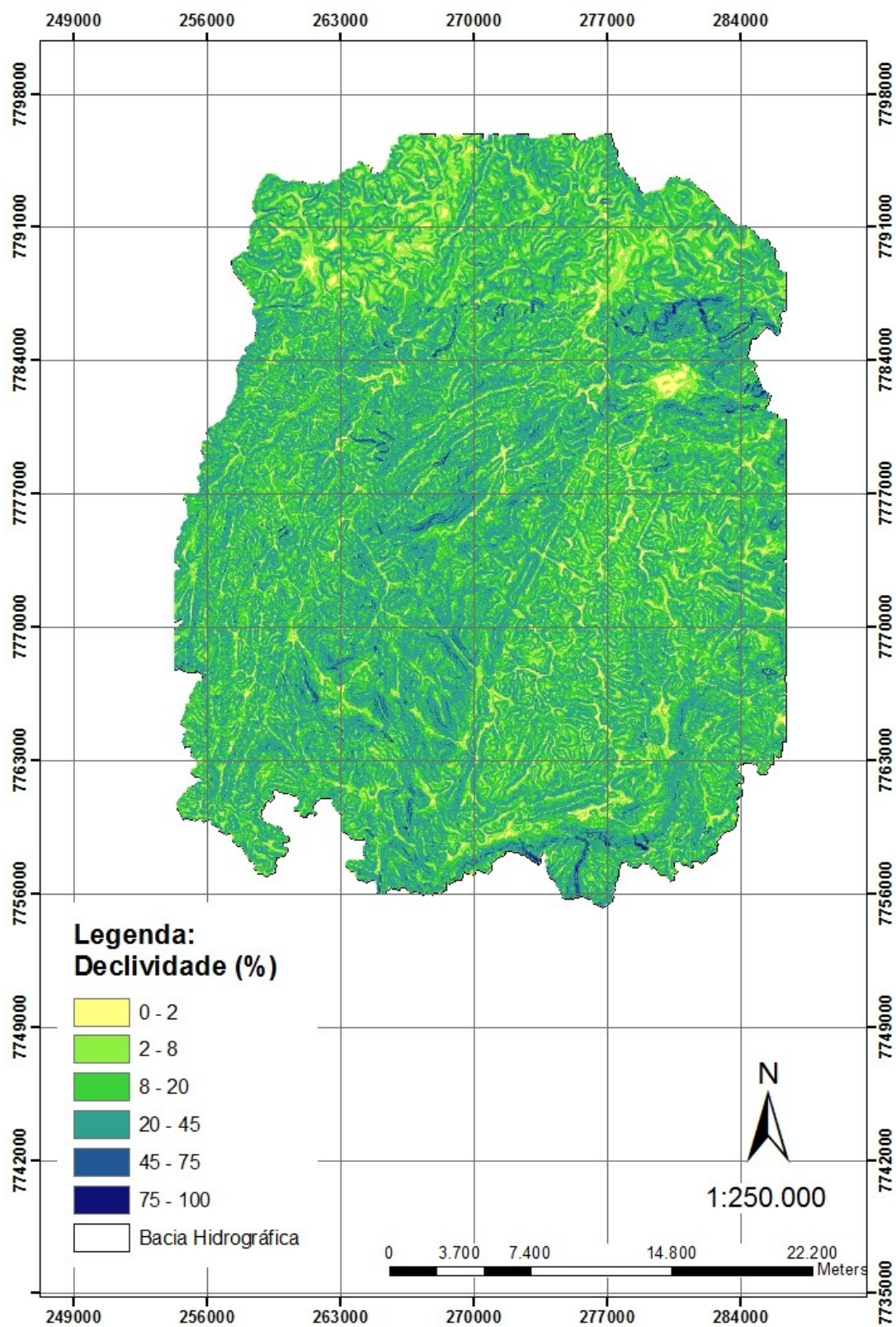
Quando se permitiu utilizar de forma mais detalhada as variações de declividade dos terrenos (metodologias II e III), a partir da geração do MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto), pode-se obter o mapa de declividade de toda a área das bacias hidrográficas e os resultados médios de declividade por bacias hidrográficas, por propriedades selecionadas e por área considerada para análise do LS (parcela das propriedades onde atualmente aplica-se o projeto Produtores de Água). Estes resultados são expostos a seguir.

Primeiramente, apresentam-se na sequência os mapas de declividade das bacias hidrográficas, com as demarcações das áreas das propriedades inseridas no projeto Produtores de Água e das 30 propriedades visitadas. Destes mapas resultarão as análises necessárias para comparar o comportamento da declividade nas bacias hidrográficas e nas propriedades.

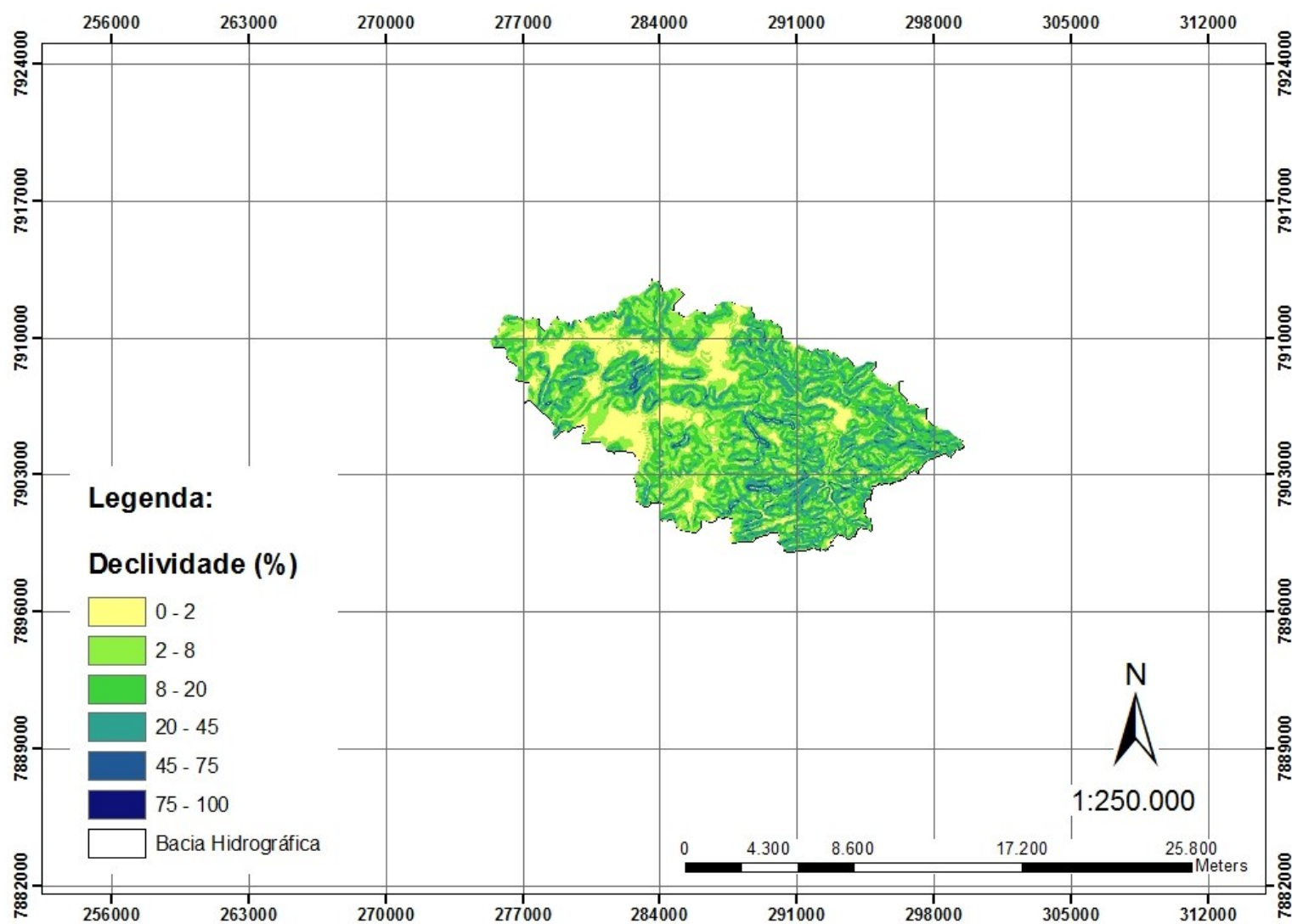
Vale ressaltar que os mapas a seguir estão reclassificados em 6 faixas, conforme recomendação do EMBRAPA (2006), apenas para melhor visualização da variabilidade que ocorre dentro das bacias hidrográficas. No cálculo foram considerados os valores registrados em cada célula sem qualquer enquadramento em classes.



Mapa 5.1: Declividade da bacia hidrográfica do Rio Benevente, com a identificação das propriedades analisadas neste estudo.



Mapa 5.2: Declividade da bacia hidrográfica do Rio Guandú, com a identificação das propriedades analisadas neste estudo.



Mapa 5.3: Declividade da bacia hidrográfica do Rio São José, com a identificação das propriedades analisadas neste estudo.

Da observação destes três mapas, pode-se verificar que as propriedades de modo geral estão localizadas nas zonas com maiores declividade, nas bacias hidrográficas. Esta questão é uma suposição visual que agora será melhor esclarecida com o cálculo do percentual de áreas enquadrado em cada faixa de declividade das bacias hidrográficas e das 30 propriedades visitadas neste estudo. A tabela 5.2 abaixo mostra a distribuição das áreas demarcadas das bacias hidrográficas do Rio Benevente, do Rio Guandú e do Rio São José nas faixas de declividade estabelecidas e o gráfico 5.1, em sequência, expõe visualmente estas variações.

Tabela 5.2: Faixas de declividade das bacias hidrográficas.

Bacia Hidrográfica	Área total (ha)	% da Área na declividade					
		0 - 2%	2 - 8%	8 - 20%	20 - 45%	45 - 75%	acima de 75%
Benevente	58.494,94	1,88%	10,42%	31,20%	54,46%	1,98%	0,06%
Guandú	108.521,03	2,77%	14,26%	38,42%	43,01%	1,47%	0,07%
São José	17.930,57	15,72%	27,66%	34,33%	20,07%	2,22%	0,00%

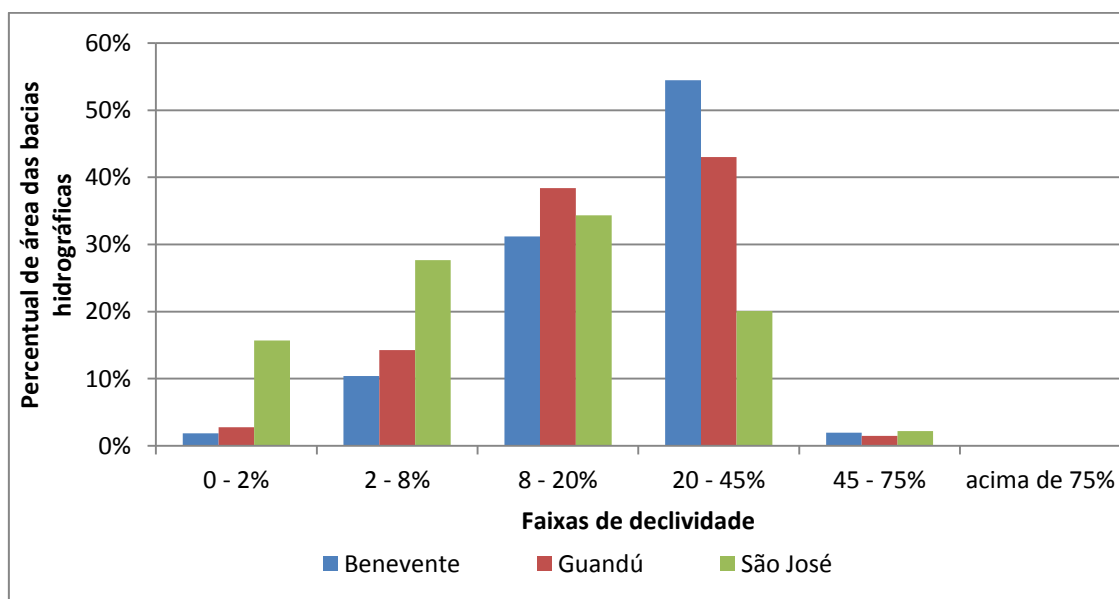


Gráfico 5.1: Distribuição das áreas das bacias hidrográficas conforme as faixas de declividade.

Com os resultados apresentados na tabela 5.2 e no gráfico 5.1, observa-se um comportamento semelhante da variação entre as faixas de declividade nas bacias hidrográficas do Benevente e do Guandú, com ambas mostrando um padrão crescente de áreas nos índices de declividade até a faixa de 20-45%, onde apresentam seu ápice em 54,46% e 43,01%, respectivamente. Já a bacia hidrográfica do São José apresentou um perfil mais plano, com áreas concentradas em

faixas de declividade menores, mostrando seu maior percentual (34,33%) na zona de variação do declive entre 8-20%.

Agora, para verificar o padrão das variações das faixas de declividade nas propriedades visitadas, apresentam-se na sequência a tabela 5.3 e o gráfico 5.2.

Tabela 5.3: Faixas de declividade das bacias hidrográficas, considerando apenas as áreas das propriedades analisadas.

Bacia Hidrográfica	N. prop. visitadas	Área total (ha)	% da Área na declividade					
			0 - 2%	2 - 8%	8 - 20%	20 - 45%	45 - 75%	acima de 75%
Benevente	13	567,56	1,49%	5,05%	16,67%	58,21%	14,24%	4,33%
Guandú	9	321,85	2,26%	7,23%	35,12%	44,47%	10,68%	0,25%
São José	8	361,71	10,30%	29,05%	37,09%	22,63%	0,92%	0,00%

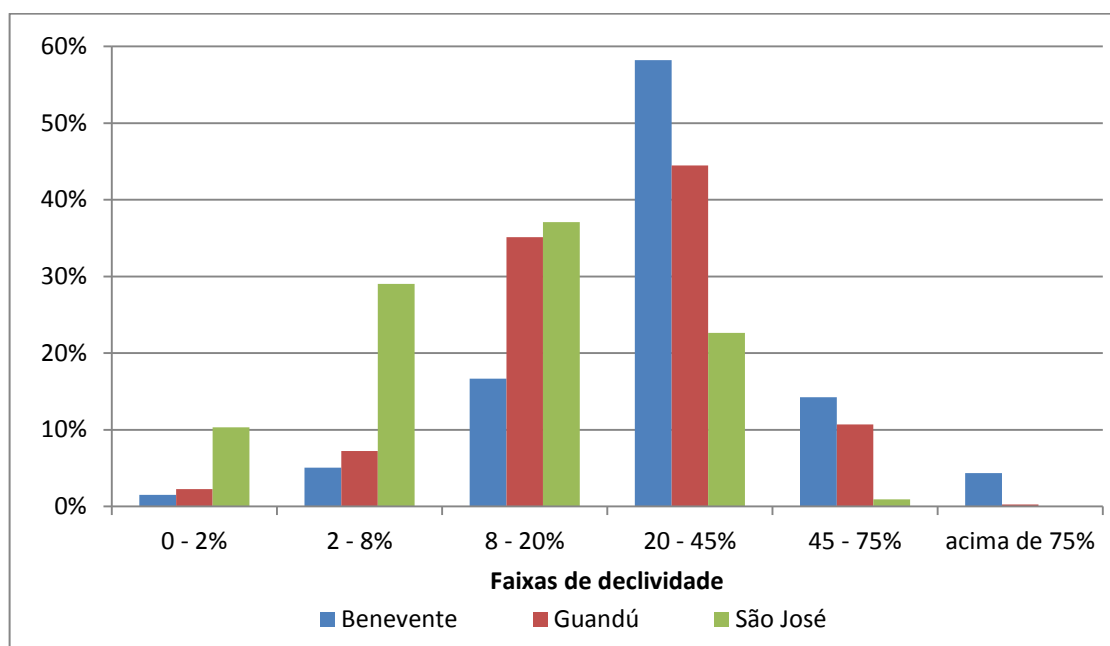


Gráfico 5.2: Distribuição das áreas das propriedades visitadas conforme as faixas de declividade.

A variação das áreas das propriedades entre as faixas de declividade (gráfico 5.2) em comparação ao padrão verificado nas bacias hidrográficas (gráfico 5.1) permite notar que as áreas das propriedades possuem uma maior representação nas faixas mais elevadas de declividade (maiores do que 20%) do que as bacias hidrográficas, nas análises do Benevente e do Guandú. Na região do São José o padrão verificado nas propriedades permanece bastante semelhante ao da bacia hidrográfica.

Para fins de comparação com os resultados obtidos pela metodologia I, foi calculado o valor médio de declividade das áreas das propriedades inseridas atualmente no projeto de PSA nas metodologias II e III, que para este parâmetro são iguais, ver quadro 5.1. A tabela 5.4 apresenta estes valores médios de declividade, obtidos a partir de técnicas de geoprocessamento.

Tabela 5.4: Declividade média das áreas analisadas de acordo com a metodologia II e III

Propriedade	Declividade média metodologia II e III	Propriedade	Declividade média metodologia II e III
1	28,05(-)	16	17,08(-)
2	52,13(-)	17	31,51(-)
3	25,72(-)	18	22,63(-)
4	68,10(-)	19	31,99(-)
5	30,47(-)	20	40,64(-)
6	52,67(+)	21	48,10(-)
7	61,97(+)	22	35,77(-)
8	26,02(-)	23	17,29(-)
9	62,71(+)	24	22,61(-)
10	21,77(-)	25	7,61(-)
11	64,94(+)	26	21,32(-)
12	47,19(-)	27	7,13(-)
13	31,49(-)	28	5,13(-)
14	33,08(-)	29	8,40(-)
15	39,38(-)	30	10,12(-)

Nota¹: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

Nota²: O sinal entre parênteses indica a comparação da declividade em relação aos valores obtidos pela metodologia I, sendo que (-) mostra que o valor observado na metodologia II e III é inferior ao resultado deste parâmetro para a metodologia I.

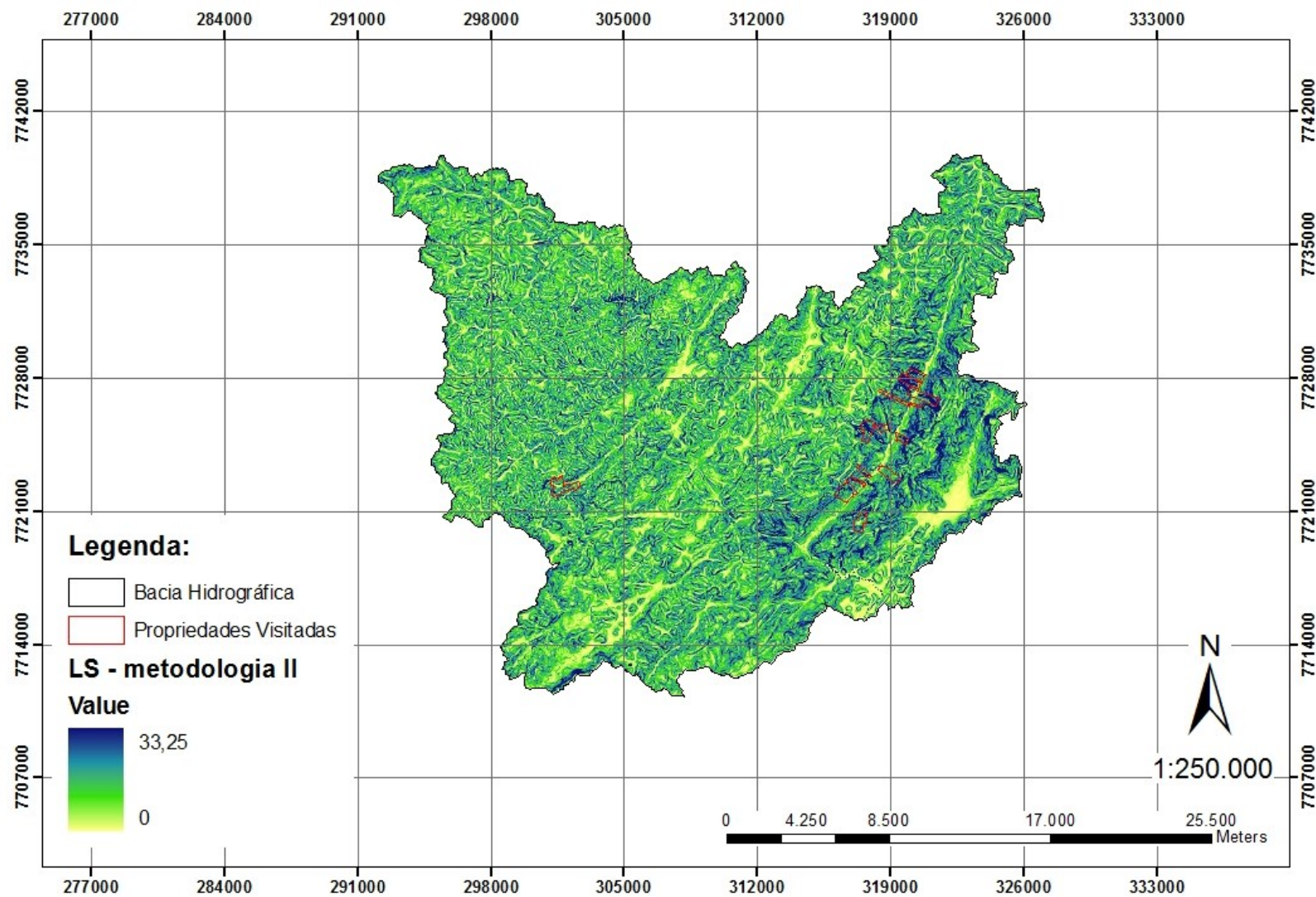
Como comentado na seção 3.2.8.1, um dos critérios de seleção da propriedade para participar do programa é que a declividade média da área das propriedades inserida no projeto Produtores de Água seja superior a 20%. Pela metodologia I (tabela 5.1), todas as 30 propriedades atenderam o critério. Mas, com o emprego da metodologia II, de determinar a declividade de forma mais detalhada, as propriedades 16, 23, 25, 27, 28, 29 e 30 não atenderiam tal critério, e, assim, não estariam hoje participando do programa. Uma vez que o método I parece superdimensionar os valores de declividade.

- Fator topográfico (LS):

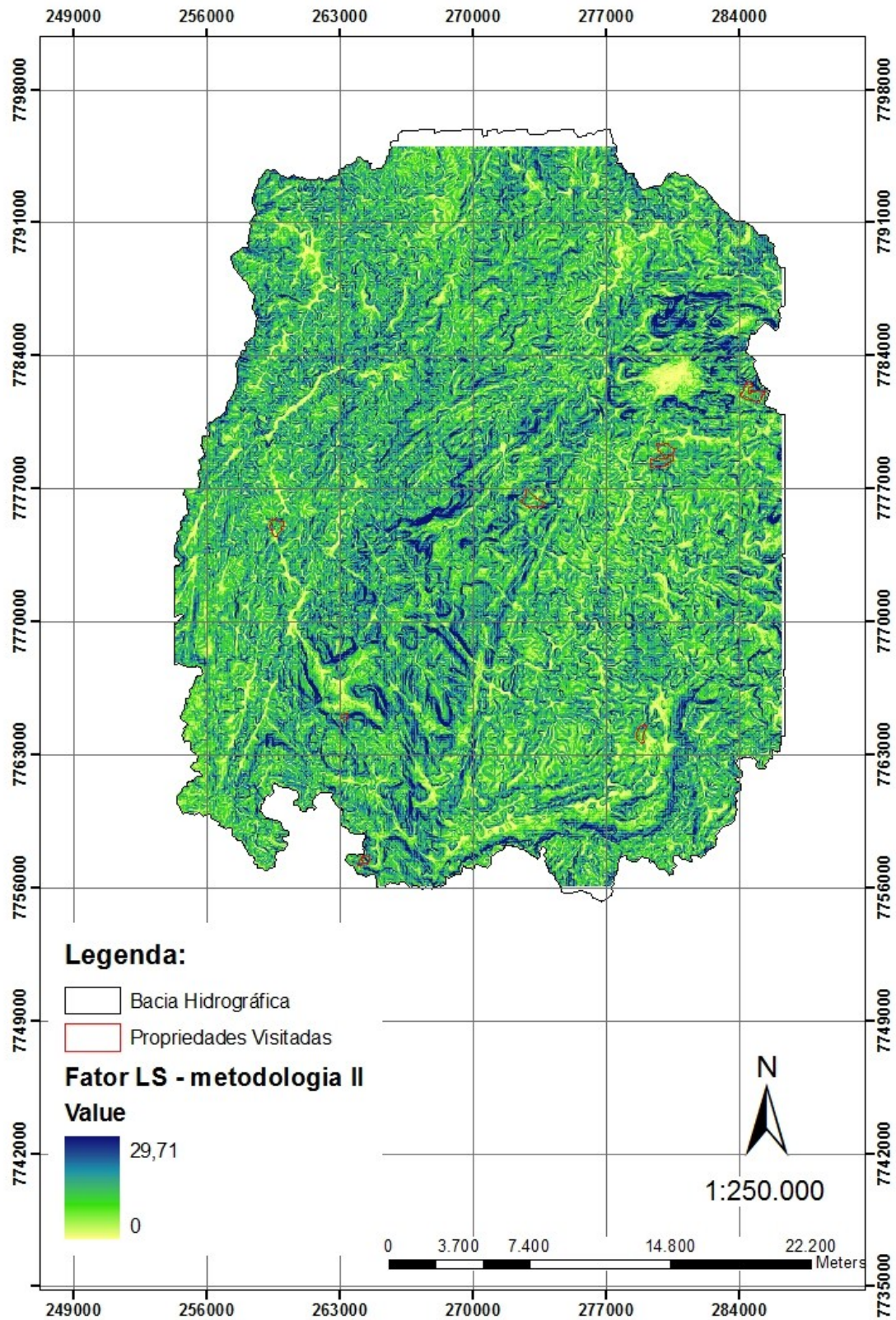
Os valores do fator LS foram determinados nas três metodologias analisadas, após o cálculo da declividade (S), utilizando-se da formulação e das considerações feitas sobre o fator de comprimento da rampa (L) em cada metodologia, conforme descrito no quadro 5.1.

Primeiramente, utilizando-se as metodologias II e III determinou-se o mapa de LS para cada uma das bacias hidrográficas. Como estas são baseadas no mesmo coeficiente de declividade, a diferenciação dos mapas ocorre de acordo com cada formulação e consideração feita sobre o fator L. Isto não ocorreu para o método I devido à existência de valores de declividade apenas para os as regiões das propriedades inseridas no programa.

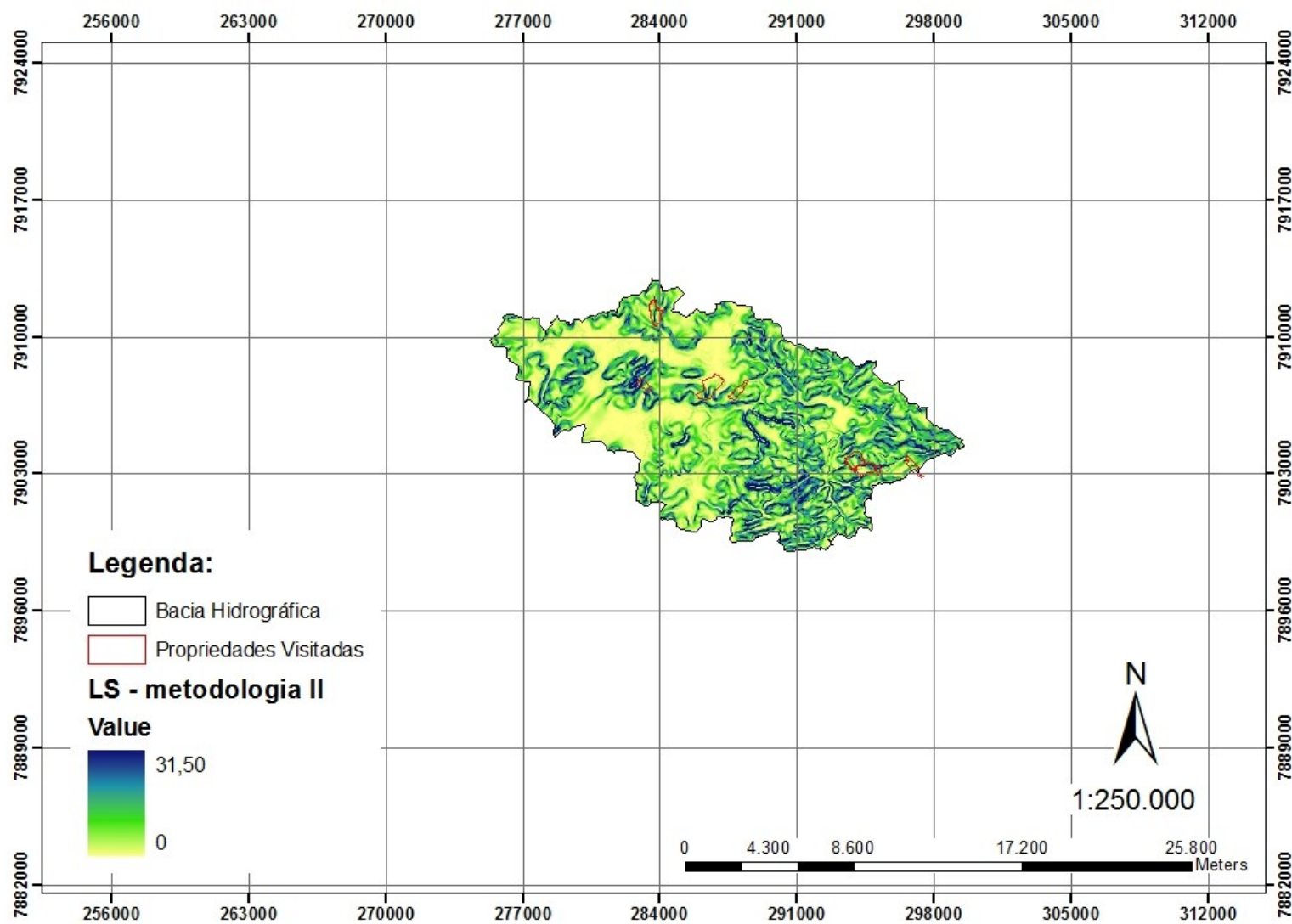
A seguir são apresentados os mapas resultantes da determinação do fator LS nas metodologias II (mapas 5.4 a 5.6) e III (mapas 5.7 a 5.9), com a marcação das propriedades visitadas.



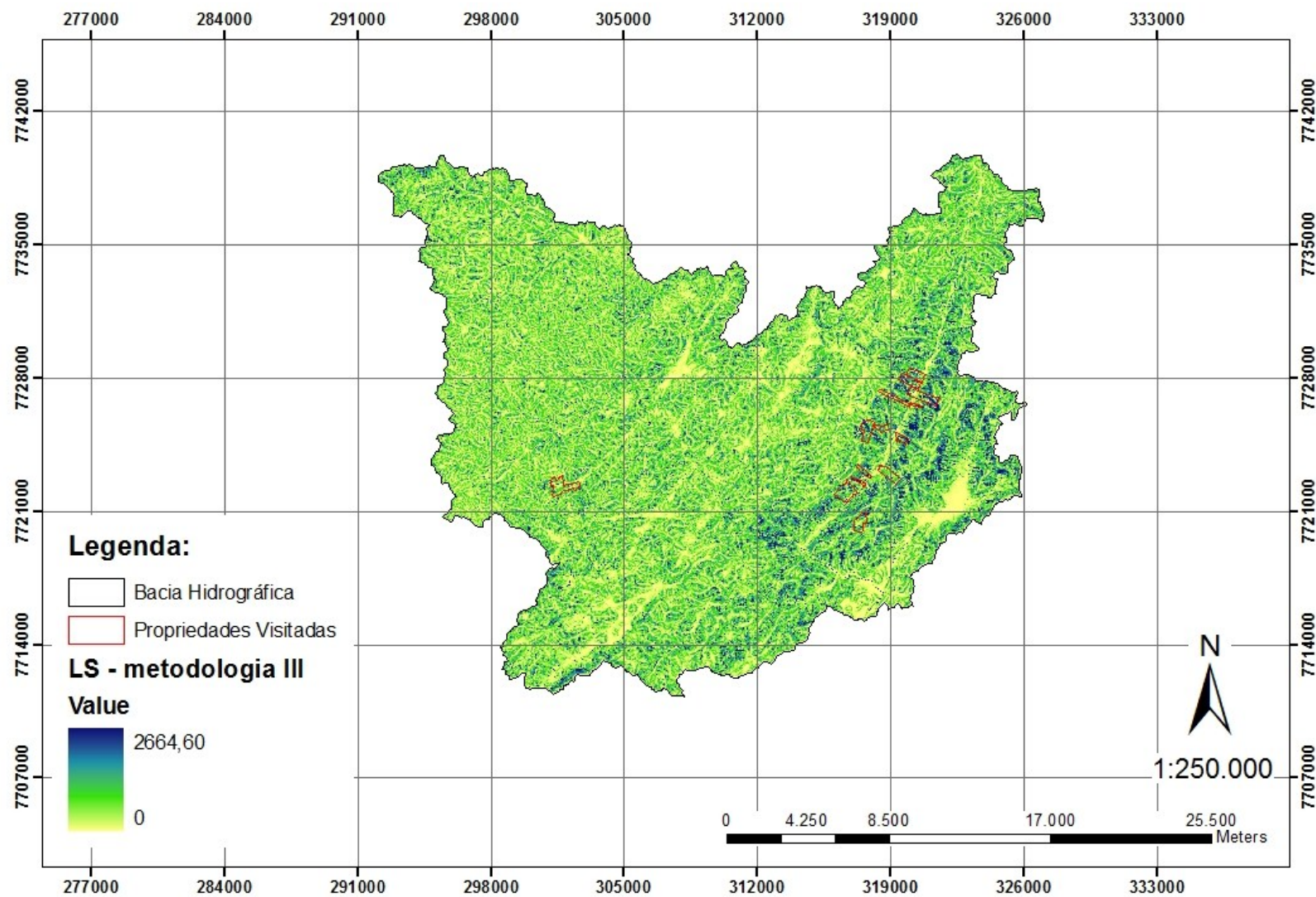
Mapa 5.4: Fator topográfico determinado conforme a metodologia II para a bacia hidrográfica do Rio Benevente



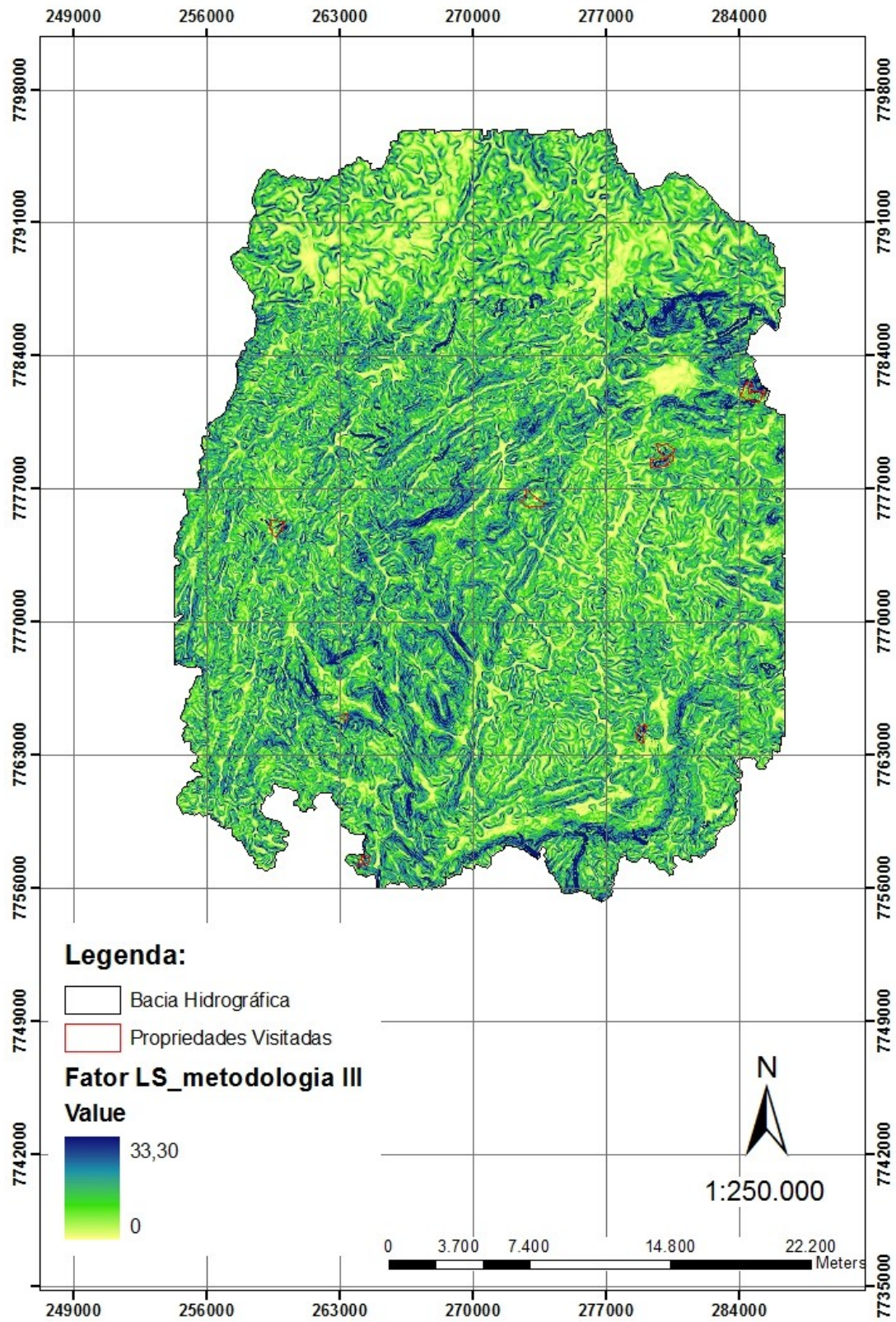
Mapa 5.5: Fator topográfico determinado conforme a metodologia II para a bacia hidrográfica do Guandú.



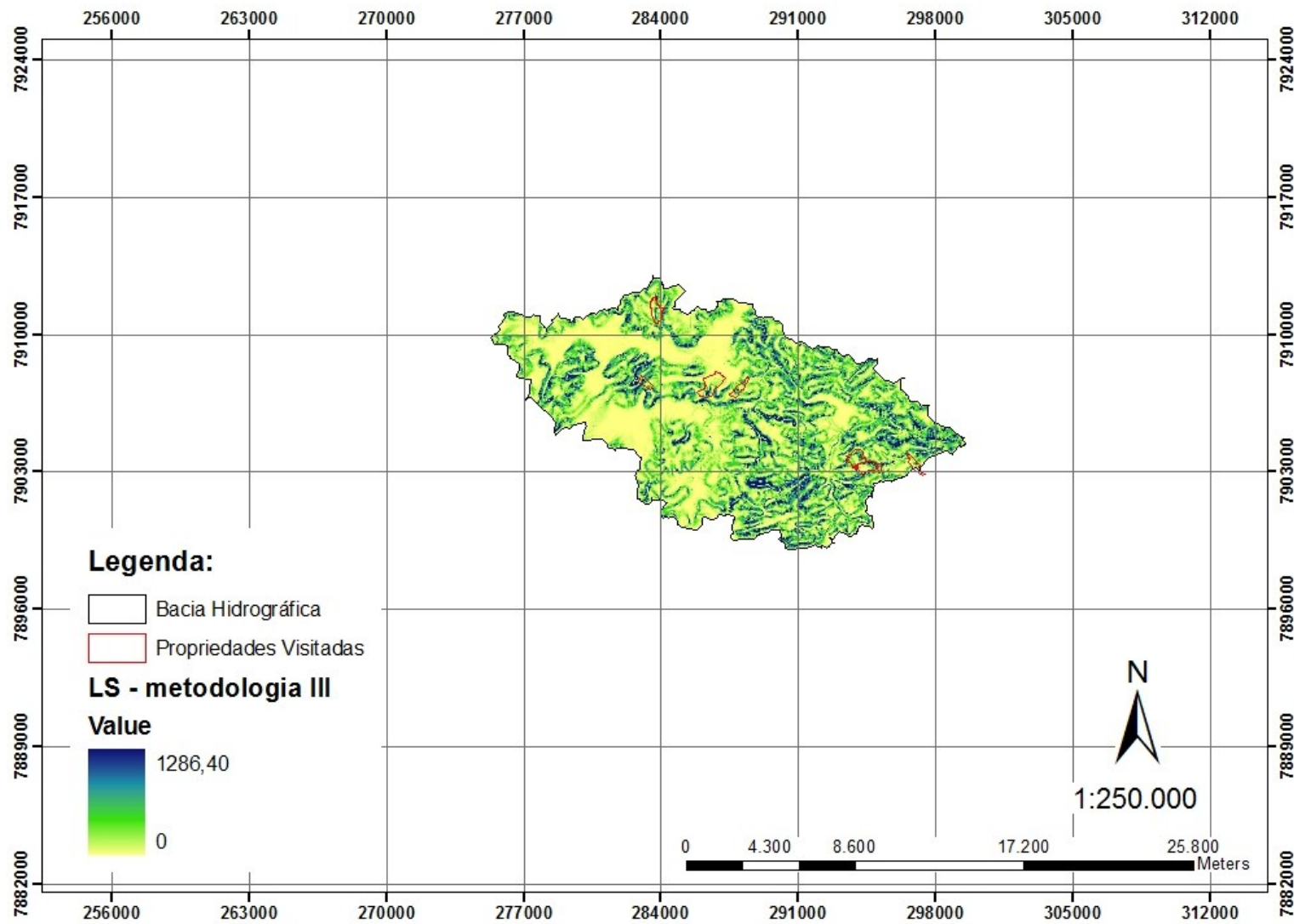
Mapa 5.6: Fator topográfico determinado conforme a metodologia II para a bacia hidrográfica do Rio São José.



Mapa 5.7: Fator topográfico determinado conforme a metodologia III para a bacia hidrográfica do Rio Benevente.



Mapa 5.8: Fator topográfico determinado conforme a metodologia III para a bacia do Rio Guandú.



Mapa 5.9: Fator topográfico determinado conforme a metodologia III para a bacia hidrográfica do Rio São José.

Com base nos mapas 5.4 a 5.9 pode-se observar que o padrão de variabilidade espacial do fator LS resultante do emprego da metodologia III é maior que o apresentado pela metodologia II. Isso pode ser verificado através da visualização da diferença na escala de variabilidade do fator LS entre as duas metodologias, sabendo-se que esta escala aponta os menores e maiores valores registrados em cada região para a respectiva metodologia. Enquanto a método II apontou valores que variavam entre zero e, aproximadamente, 30 em todas as três regiões, a metodologia III apontou valores de zero a 2.664,6 para o Benevente, 2123,89 para o Guandú e 1.286,4 para o São José.

Para uma visualização com nível maior de discretização, calculou-se os valores médios do fator LS obtidos para as áreas das propriedades inseridas no projeto atual de PSA e os respectivos desvios-padrões estão apresentados na tabela 5.5, e constituem a base para a análise posterior da sensibilidade do parâmetro, na tentativa de otimização do mesmo com adoção de técnicas baseadas em geoprocessamento.

Tabela 5.5: Valores médios de LS e o desvio-padrão determinados de acordo com as três metodologias estabelecidas para as áreas das propriedades onde está implementado o projeto Produtores de Água.

Propriedades	Metodologia I		Metodologia II		Metodologia III	
	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão
1	19,18	5,64	11,06	5,01	34,29	39,92
2	21,03	3,80	19,24	6,72	63,14	57,29
3	13,93	6,36	8,42	3,95	32,06	50,97
4	27,41	9,85	26,19	5,57	74,19	66,53
5	17,80	5,73	10,35	5,82	39,18	45,00
6	18,38	5,55	19,74	9,29	48,51	79,89
7	22,16	1,81	18,42	8,13	67,42	73,26
8	13,04	5,22	8,50	3,66	24,84	24,45
9	1,42	0,49	23,91	7,88	66,69	78,13
10	10,88	3,13	7,02	4,37	15,99	17,91
11	16,09	6,24	24,89	7,82	44,92	42,80
12	15,56	5,96	17,31	9,17	34,55	38,08
13	21,42	9,71	10,63	3,94	26,40	18,79
14	13,52	5,47	11,52	7,44	25,39	28,03
15	16,88	5,94	14,10	8,82	33,26	54,91
16	19,92	6,67	9,07	6,08	22,74	25,09
17	24,00	11,61	10,72	5,18	23,05	34,52
18	21,92	6,73	7,18	2,68	22,95	19,85
19	24,58	8,34	10,83	3,72	24,51	16,45
20	16,42	6,19	14,43	6,59	46,88	47,26
21	19,19	6,89	17,52	6,76	46,39	41,02
22	18,25	6,60	12,69	8,74	25,65	42,60
23	15,92	6,06	5,25	2,60	18,72	17,52
24	16,80	7,09	7,23	3,16	22,11	12,90
25	15,84	6,77	1,98	0,63	3,20	2,03
26	28,14	6,29	6,85	4,38	16,57	13,63
27	12,95	5,83	1,93	2,19	8,65	16,14
28	16,77	5,96	1,39	2,25	2,87	5,65
29	12,15	4,61	2,34	2,02	10,47	11,69
30	15,83	6,58	2,89	2,39	5,66	8,65

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

Já para as análises de perda de solo que envolvem a variação dos outros fatores componentes da EUPS, a base de cálculo é a área das propriedades como um todo. A tabela 5.6 a seguir apresenta os resultados de LS, considerando a área total das propriedades, apenas segundo a metodologia III, que era passível de determinação.

Tabela 5.6: Valores médios e desvio-padrão de LS nas propriedades, determinados pela metodologia III.

Propriedades	Metodologia III	
	Média	Desv. padrão
1	26,64	28,8
2	43,30	49,14
3	26,37	40,98
4	38,50	46,57
5	23,74	24,69
6	30,69	53,88
7	31,70	33,19
8	20,11	23,2
9	36,00	51,24
10	17,69	17,81
11	36,85	38,16
12	29,00	33,03
13	26,10	0,04
14	13,94	0,15
15	24,87	37,24
16	14,65	16,28
17	19,16	24,21
18	22,90	19,6
19	18,24	16,55
20	19,47	26,18
21	24,90	28,92
22	19,63	35,37
23	12,43	13,03
24	15,99	13,66
25	8,86	11,02
26	15,29	17,8
27	10,64	9,92
28	6,77	12,13
29	10,73	12,15
30	7,28	8,68

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

Comparando os valores mostrados nas tabelas 5.5 e 5.6, podemos observar que quando se visualiza o fator topográfico para a propriedade (tabela 5.6) em relação a área restrita (tabela 5.5) onde atualmente se aplica o projeto Produtores de Água, a média dos valores na grande

maioria das propriedades diminui, em ambas as metodologias testadas. Isso está associado ao critério de seleção das áreas mais elevadas das propriedades para serem inseridas no projeto de PSA, e assim, na análise da área total das propriedades, as parcelas de menor declividade exerceram uma pressão de redução nos valores de LS médio.

O aprofundamento destas análises e outras considerações acerca da sensibilidade do método de determinação de LS e da área de abrangência do cálculo deste fator serão abordadas em tópicos posteriores.

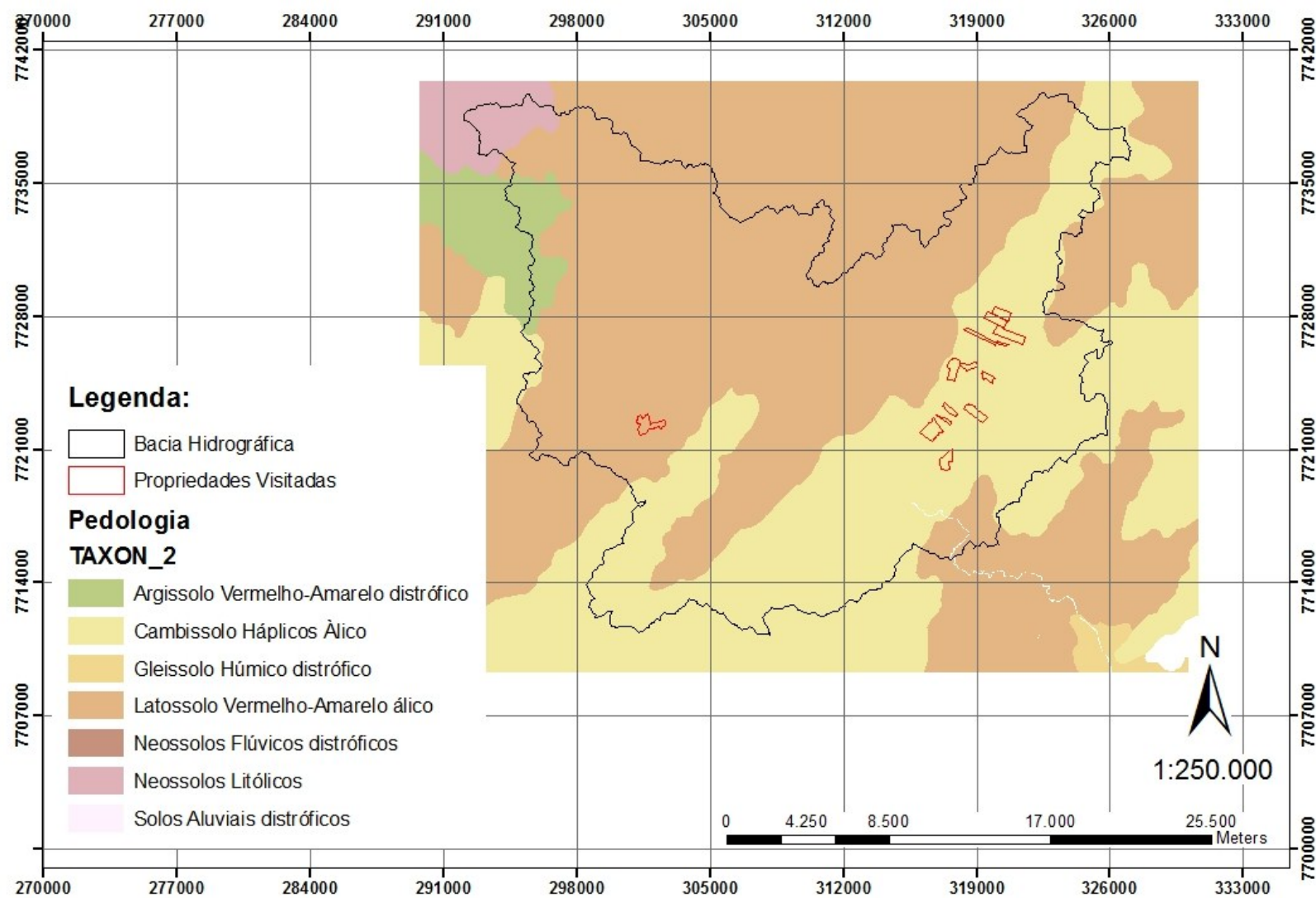
5.1.2 Coeficientes de Erodibilidade do Solo (K) e Erosividade da Chuva (R):

Os coeficientes de erodibilidade do solo e erosividade da chuva nesta pesquisa foram considerados conjuntamente, principalmente pela característica apresentada por ambos de serem fatores capazes de demonstrar a variabilidade espacial presente no cálculo da perda de solo, ou seja, a relativização do potencial de erosão existente entre as áreas por conta da região em que estão localizadas. Mais considerações a este respeito serão feitas adiante.

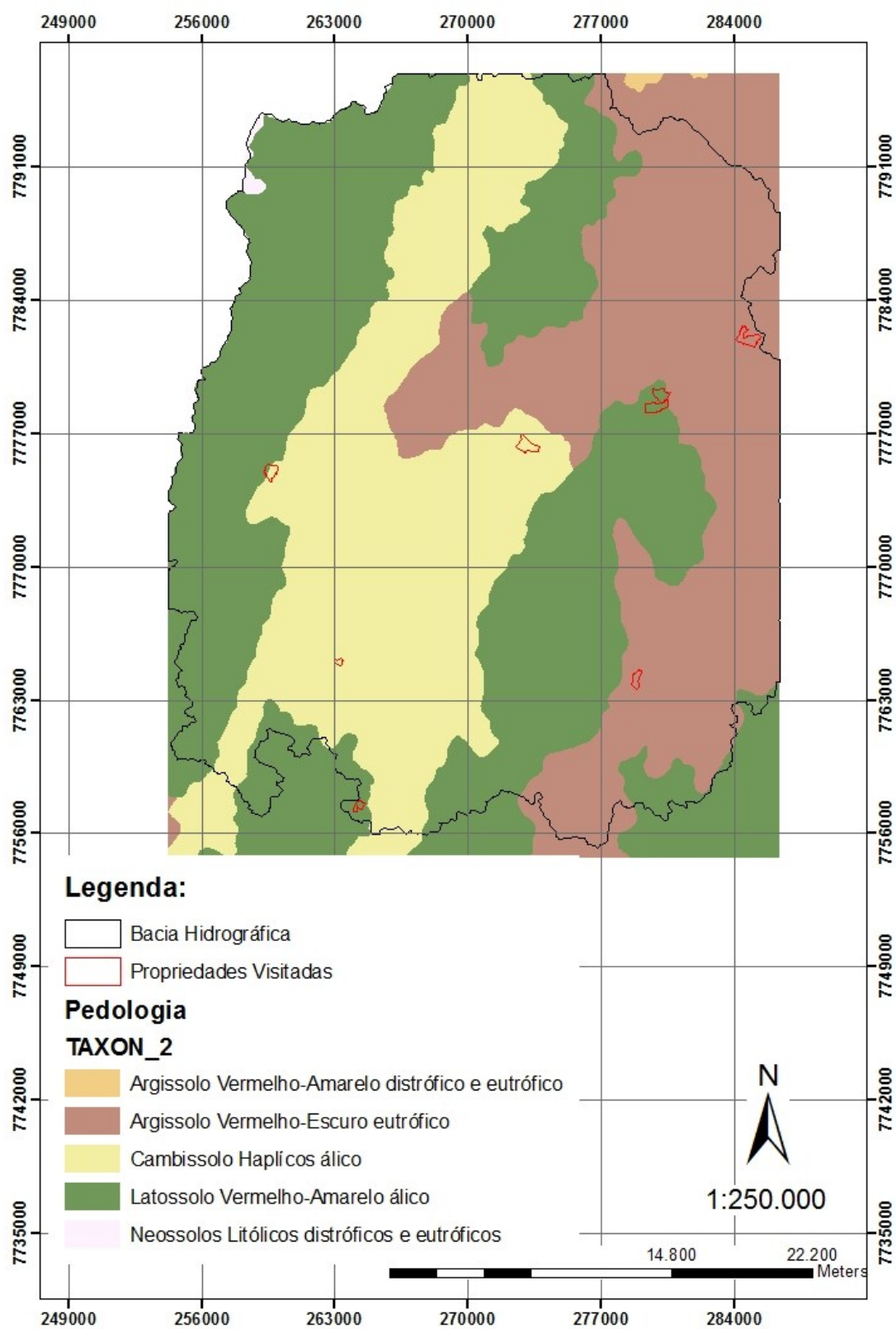
A determinação de cada um desses parâmetros foi realizada de forma separada e depois foram multiplicados para a obtenção do fator RK. A seguir os resultados são apresentados.

- Fator Erodibilidade dos Solos (K):

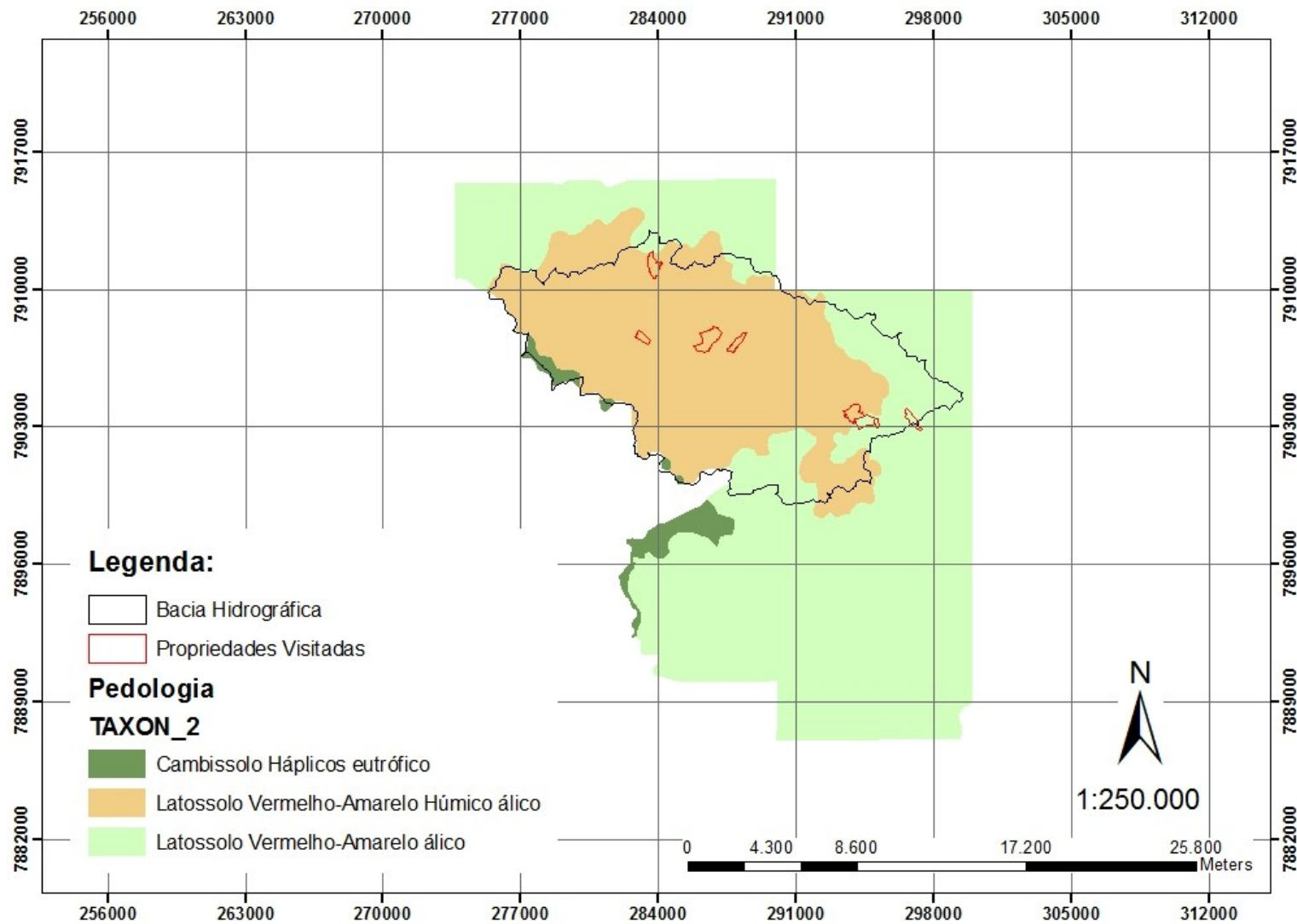
Os valores de erodibilidade dos solos foram gerados a partir das informações sobre as unidades pedológicas encontradas nas áreas de estudo. Os mapas pedológicos das bacias hidrográficas dos rios Benevente, Guandú e São José estão expostos a seguir nos mapas 5.10 a 5.12, com as referentes propriedades demarcadas.



Mapa 5.10: Pedologia da bacia hidrográfica do Rio Benevente.



Mapa 5.11: Pedologia da bacia hidrográfica do Rio Guandú.



Mapa 5.12: Pedologia da bacia hidrográfica do Rio São José.

De acordo com os mapas de pedologia, determinou-se o percentual de área da bacia hidrográfica que continha cada tipo de solo. Os gráficos 5.3 a 5.5 apresentados abaixo sintetizam esta informação.

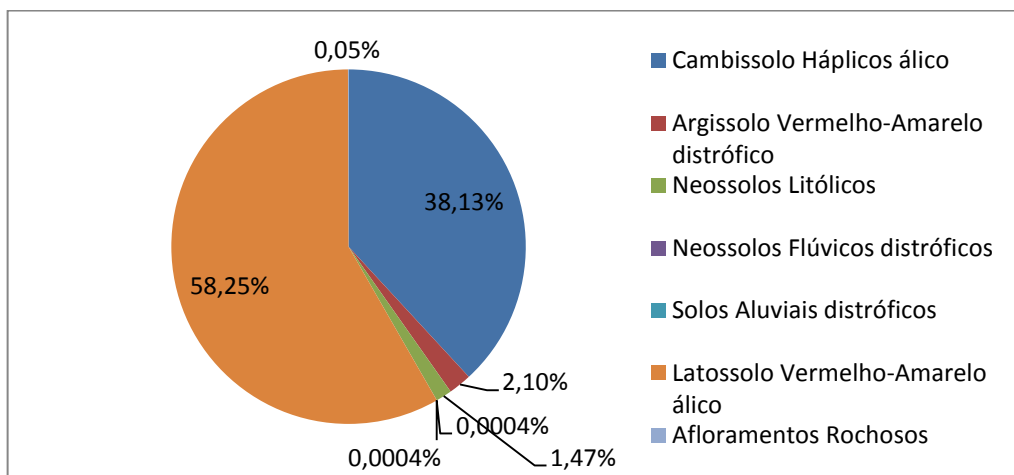


Gráfico 5.3: Percentual de tipos de solo da bacia hidrográfica do Rio Benevente.

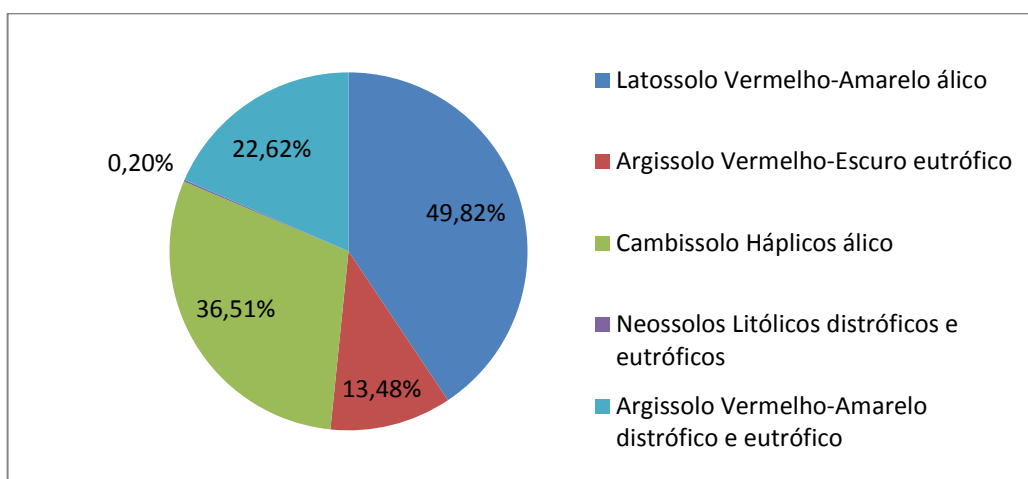


Gráfico 5.4: Percentual de tipos de solo da bacia hidrográfica do Rio Guandú.

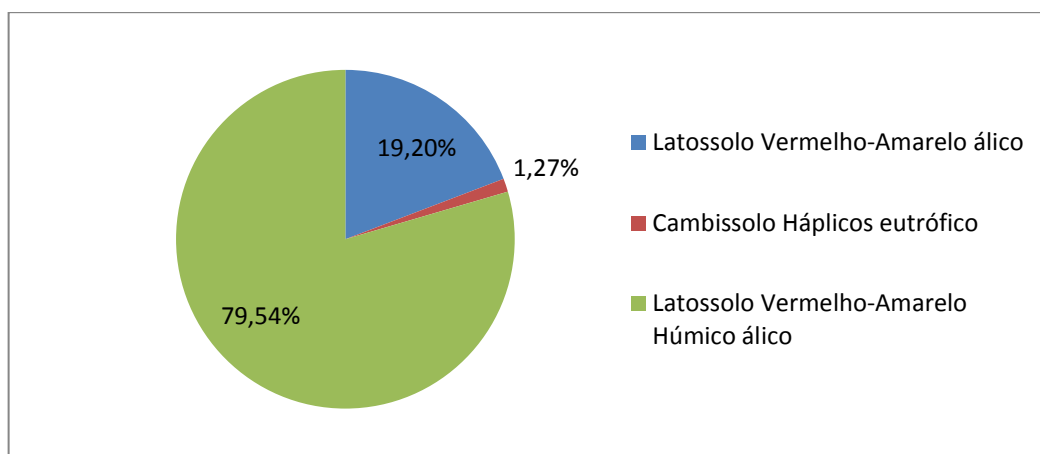


Gráfico 5.5: Percentual de tipos de solo da bacia hidrográfica do Rio São José

Após a proporção dos tipos de solo presentes em cada região hidrográfica analisada, buscou-se na literatura valores que representassem o fator K para estes tipos de solo. As tabelas 5.7 a 5.9 apresentam, para cada tipo de solo presente nas bacias hidrográficas, os valores associado ao fator K e a fonte bibliográfica fornecedora dessa informação.

Tabela 5.7: Valores do Fator K da bacia hidrográfica do Benevente com os referenciais bibliográficos

Benevente		
Classes de Solo	Fator K	Fonte
Cambissolo Háplicos álico	0,060	Costa et al. (2009)
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	0,043	Costa et al. (2009)
Neossolos Litólicos	0,054	Costa et al. (2009)
Neossolos Flúvicos distróficos	0,029	Baptista (1997)
Solos Aluviais distróficos	0,029	Baptista (1997)
Latossolo Vermelho-Amarelo álico	0,020	Costa et al. (2009)

Tabela 5.8: Valores do Fator K da bacia hidrográfica do Guandú com os referenciais bibliográficos

Guandú		
Classes de Solo	Fator K	Fonte
Cambissolo Háplicos álico	0,060	Costa et al. (2009)
Neossolos Litólicos distróficos e eutróficos	0,052	Farinasso (2006)
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e eutrófico	0,043	Costa et al. (2009)
Latossolo Vermelho-Amarelo álico	0,020	Costa et al. (2009)
Argissolo Vermelho-Escuro eutrófico	0,018	Farinasso (2006)

Tabela 5.9: Valores do Fator K da bacia hidrográfica do São José com os referenciais bibliográficos

São José		
Classes de Solo	Fator K	Fonte
Cambissolo Háplicos eutrófico	0,060	Costa et al. (2009)
Latossolo Vermelho-Amarelo álico	0,020	Costa et al. (2009)
Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico álico	0,020	Costa et al. (2009)

Com base nos valores atribuídos aos tipos de solo pode-se determinar o valor médio de K por bacia hidrográfica, cujos resultados foram: 0,036 para o Benevente; 0,044 para o Guandú; e 0,020 para o São José. Verificando estes valores com a classificação estabelecida por Carvalho (1994), tabela 3.3, todas as bacias foram enquadradas como área de baixo potencial de erodibilidade do solo.

Já na comparação entre a composição dos tipos de solo das bacias hidrográficas e o coeficiente de erodibilidade do solo que lhes foram atribuídos, é possível verificar que os solos do tipo Cambissolos, significativamente presentes nas bacias hidrográficas do Rio Benevente (38,13%) e do Guandú (36,51%) possuem os maiores valores de K (0,060). Outra ressalva é o elevado percentual de Latossolos presentes nas propriedades analisadas, principalmente na bacia do São José, onde mais de 98% da área apresenta este tipo de solo, entretanto este é o tipo de solo que apresenta menor valor no coeficiente, observando as três bacias hidrográficas (0,020).

- Fator Erosividade da Chuva (R):

Os coeficientes de erosividade da chuva foram determinados a partir da seleção das estações pluviométricas que estavam dentro das áreas das bacias hidrográficas e ao seu redor. A partir das informações diárias de pluviosidade nas estações, o valor de R de cada estação foi calculado, através da equação de Leprun (equação 3.5). As tabelas 5.10 a 5.12 mostram o resultado do cálculo do fator R para cada estação pluviométrica considerada nas três regiões hidrográficas analisadas.

Tabela 5.10 : Tabela com os valores de R das estações pluviométricas que influenciam na bacia hidrográfica do Rio Benevente.

Bacia Hidrográfica do Rio Benevente	R (MJ.mm/ha.ano)
2040001 Fazenda Jucuruaba	5780,40
2040004 Guarapari	5550,46
2040005 Iconha	6949,88
2040011 Matilde	7683,60
2040012 Marechal Floriano	6861,13
2040017 Duas Barras	7437,85
2040020 Vila Nova maravilha	8447,82
2040023 São Rafael	6056,23
2041010 Jacigua	7218,53

Nota: 5550,46 < R < 8447,82

Tabela 5.11: Tabela com os valores de R das estações pluviométricas que influenciam na bacia hidrográfica do Rio Guandú.

Bacia Hidrográfica do Rio Guandú	R (MJ.mm/ha.ano)
1840000 Itarana	6308,98
1941008 Laranja da Terra	5936,75
1941009 Ibituba	5220,39
1941019 Mutum	6505,18
2040008 Garrafão	6406,45
2041011 Conceição do Castelo	6720,90
2041020 Aracê	6986,10

Nota: $5220,39 < R < 6986,10$

Tabela 5.12: Tabela com os valores de R das estações pluviométricas que influenciam na bacia hidrográfica do Rio São José.

Bacia Hidrográfica do Rio São José	R (MJ.mm/ha.ano)
1840000 Águia Branca	6509,52
1940004 Barra de São Francisco	5462,01
1940009 Pancas	6209,83
1941004 Resplendor	6198,68
1941005 Barra do Cuité - jusante	5512,61
1941012 Alto Rio Novo	4977,53

Nota: $4977,53 < R < 6509,52$

Estes resultados mostraram que os valores calculados de erodibilidade da chuva nas áreas das estações pluviométricas estão classificados, segundo Carvalho (1994), tabela 3.2, na faixa de potencial de erosividade médio a forte, com exceção de duas estações consideradas na análise da bacia do Rio Benevente (Matilde e Vila Nova Maravilha) que por possuírem fator R maior que 7.000 MJ.mm/(ha.ano), foram classificadas como de potencial de erosividade forte.

Para auxiliar a análise do regime pluviométrico mensal das estações, estes resultados estão expostos nos gráficos a seguir.

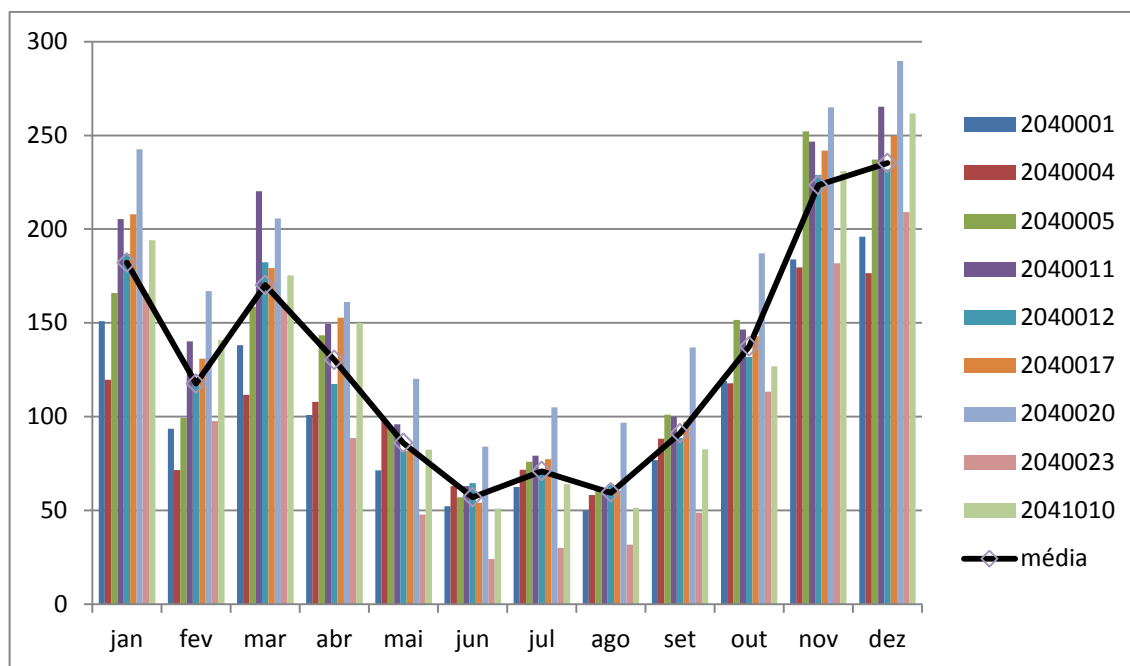


Gráfico 5.6: Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas utilizadas para o cálculo dos fatores R para a bacia hidrográfica do Rio Benevente (em mm).

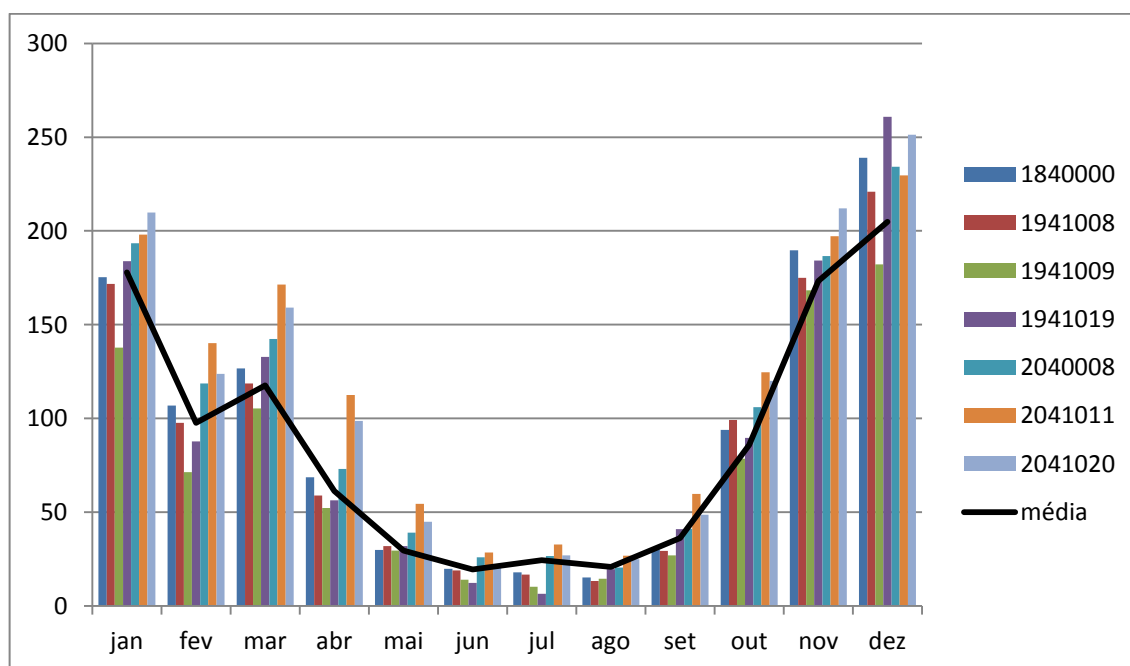


Gráfico 5.7: Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas utilizadas para o cálculo dos fatores R para a bacia hidrográfica do Rio Guandú (em mm).

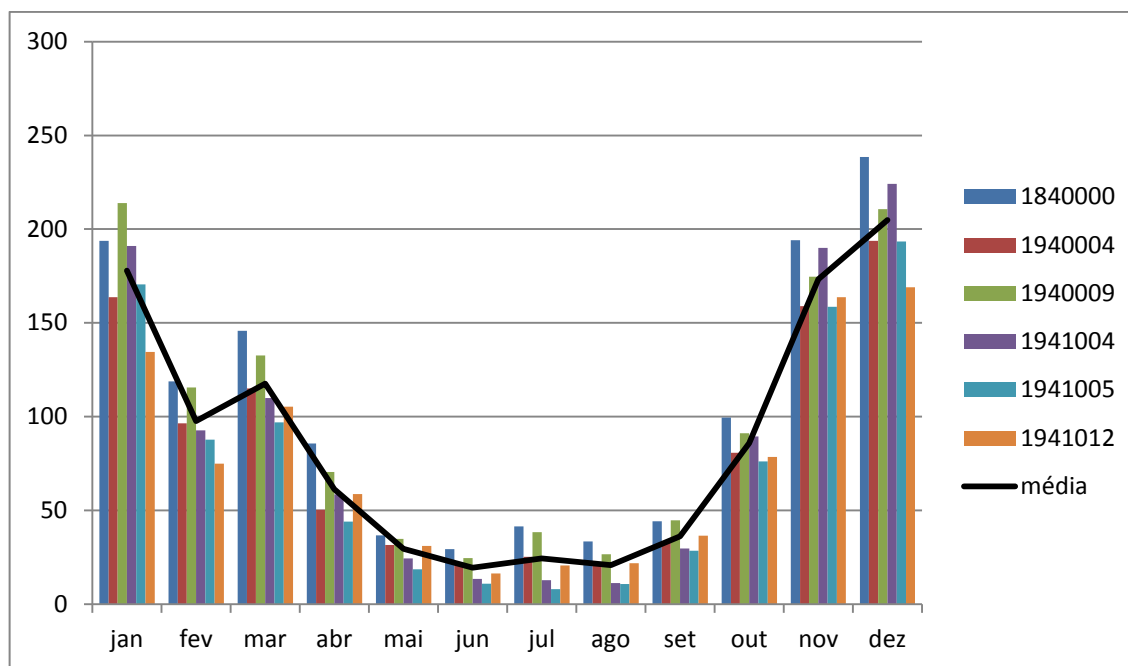
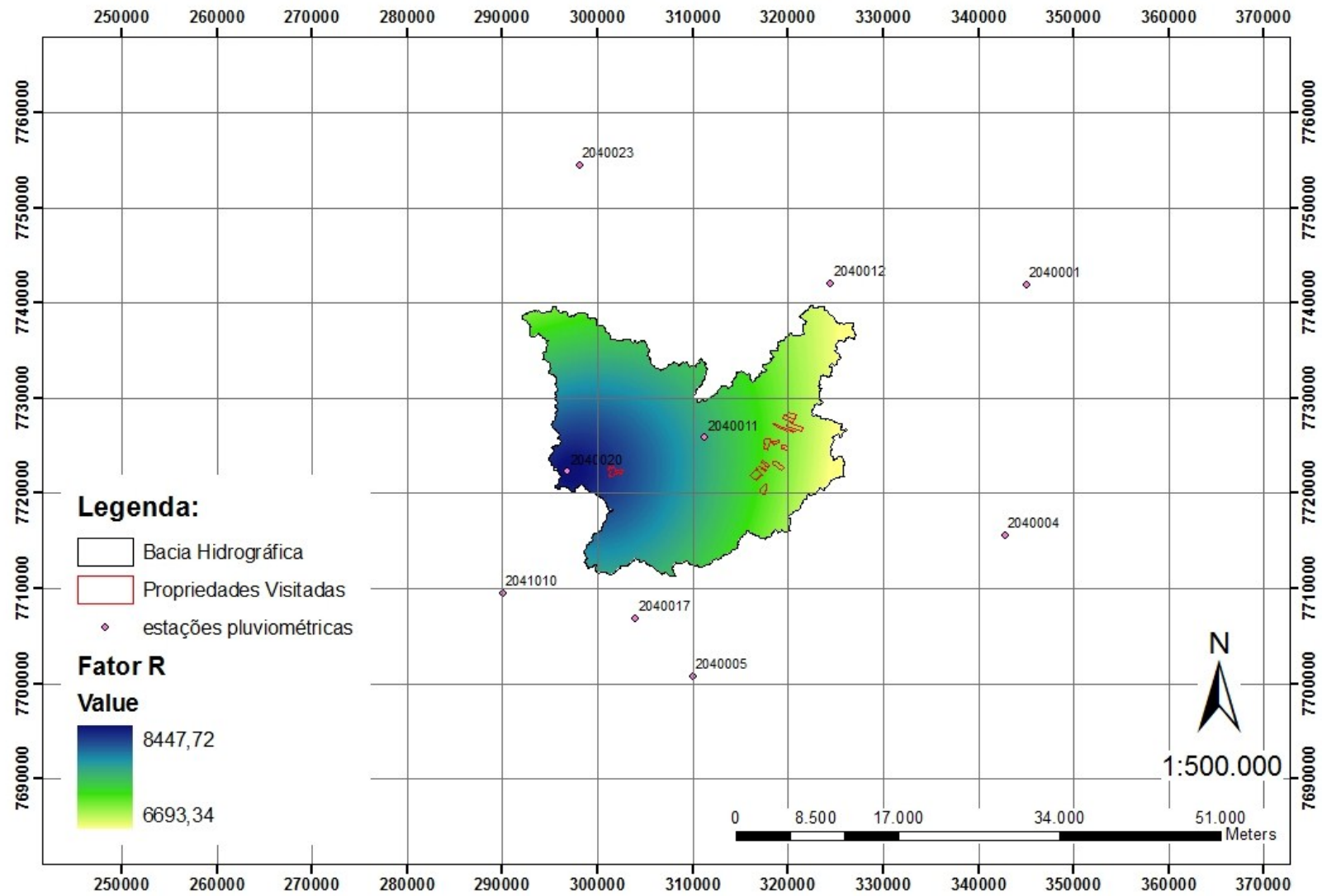


Gráfico 5.8: Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas utilizadas para o cálculo dos fatores R para a bacia hidrográfica do Rio São José (em mm).

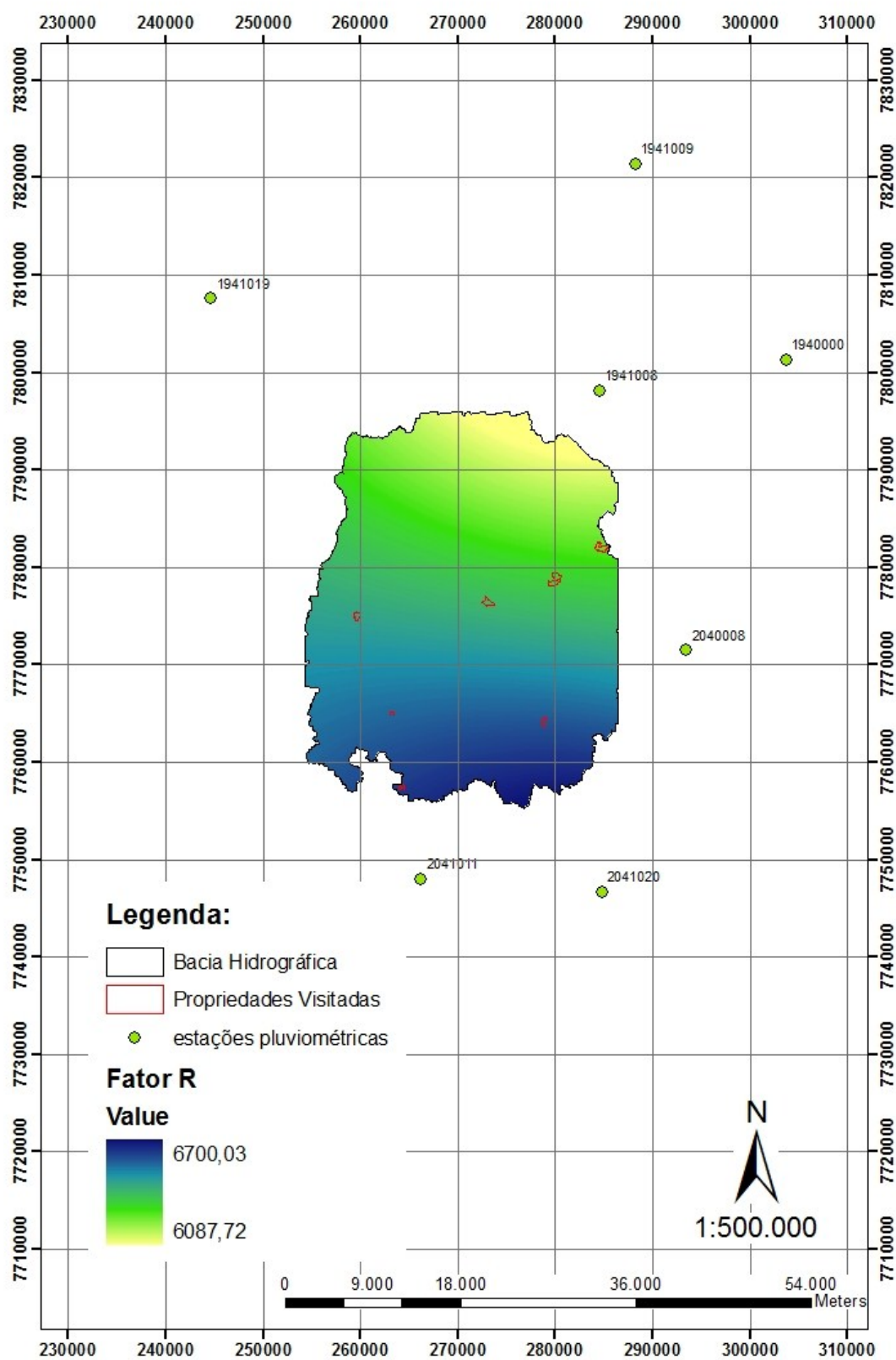
Os gráficos acima permitem verificar um comportamento diferenciado do regime de chuva nas três bacias hidrográficas analisadas. A área do Rio Benevente está localizada em uma região com um regime de chuvas mais favorecido do que as demais, o que pode ser observado tanto pelos índices de precipitação média anual, que nas estações consideradas pelo Benevente tem seu valor mínimo de 1.198,21 mm em comparação com os valores mínimos das demais que estão em 888,66 mm no Guandú e 903,33 mm no São José; quanto pelos valores de precipitação média mensal apresentados no gráfico 5.5, que mostram que mesmo nos meses de menor pluviosidade o nível de chuva fica acima dos 50 mm em quase todas as estações pluviométricas consideradas, apenas com exceção de uma (2040023).

Na observação dos dados para as regiões do Guandú e do São José é possível verificar certo padrão de semelhança, principalmente quando são verificados os gráficos de precipitação média mensal. Desta análise de índices de pluviosidade das bacias hidrográficas analisadas, o que fica de principal a ser registrado é que a distância espacial destas regiões pode ocasionar valores bastante diferentes do fator de R, e assim se ressalva a importância deste parâmetro na análise de perda de solo.

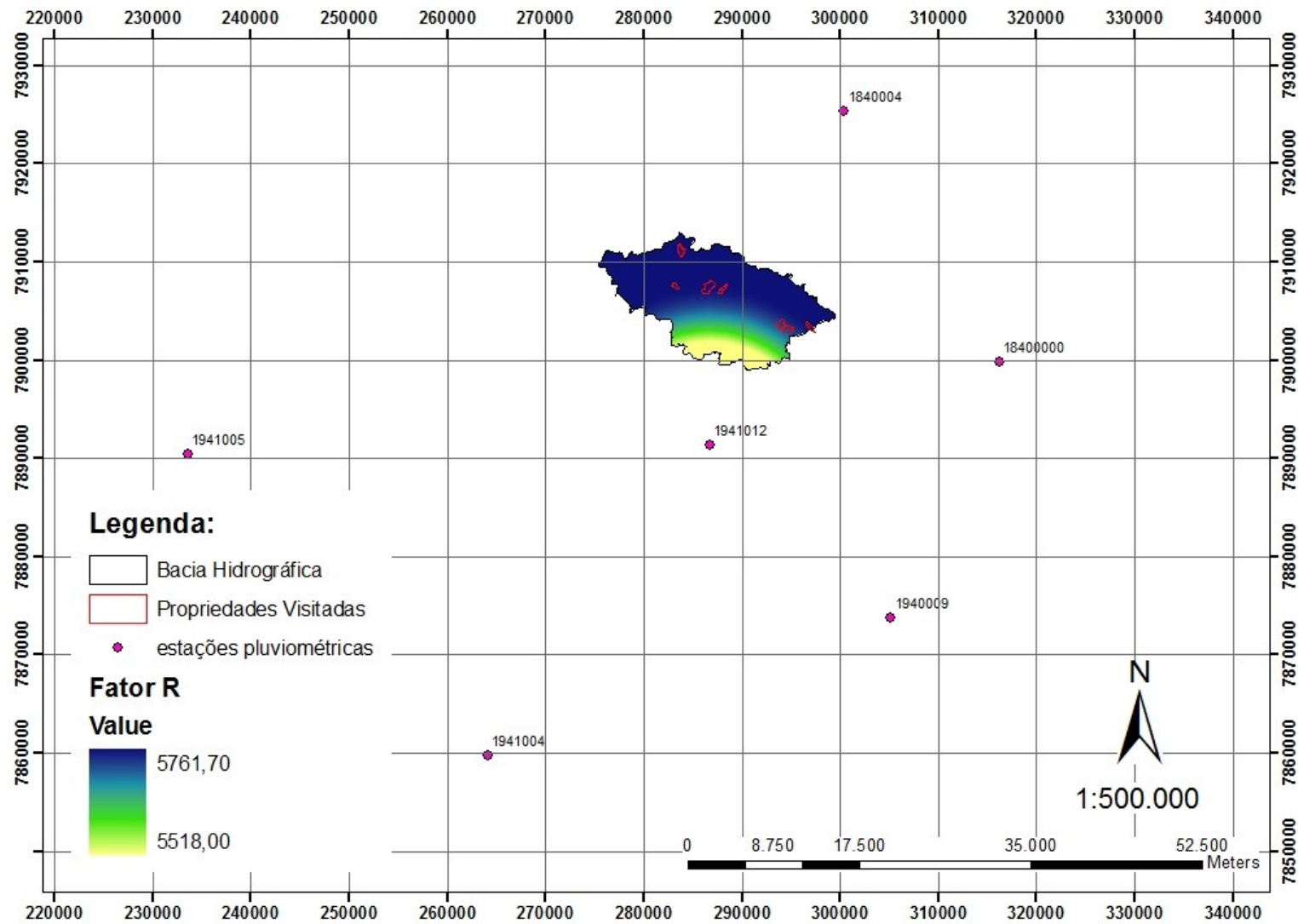
O cálculo do fator de erosividade da chuva em toda extensão das bacias hidrográficas e nas propriedades foi realizado através da interpolação dos valores de R obtidos pelas estações pluviométricas. Os mapas 5.12 a 5.14 apresentam os resultados desta interpolação para as áreas das bacias hidrográficas consideradas. A demarcação das estações pluviométricas utilizadas estão contidas nos mapas para possibilitar uma visualização espacial da distância destes pontos em relação às áreas das propriedades. Também são destacadas as propriedades para que o padrão regional semelhante gerado pelo método de consideração deste fator seja visualizado.



Mapa 5.13: Fator R da bacia hidrográfica do Rio Benevente.



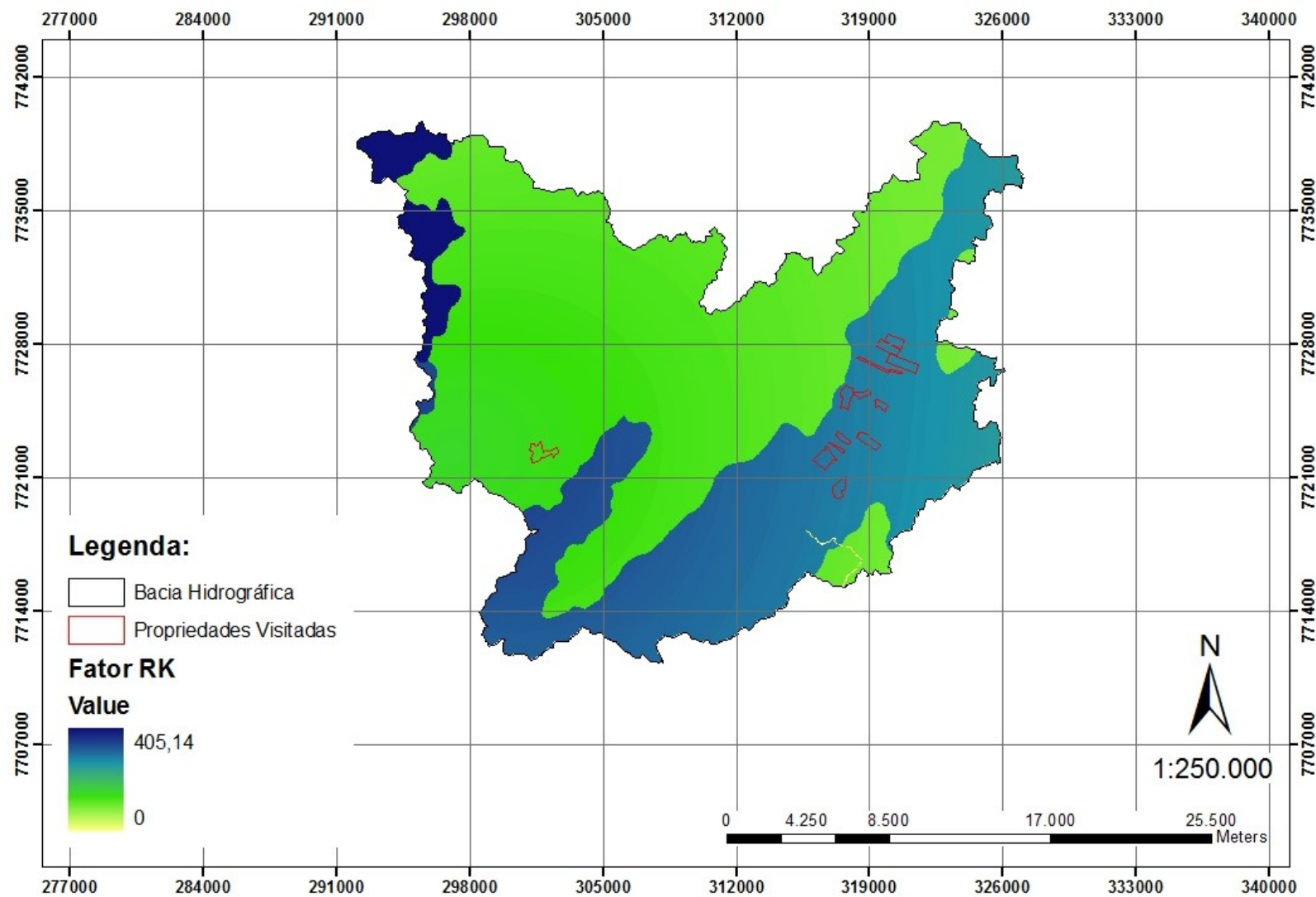
Mapa 5.14: Fator R da bacia hidrográfica do Rio Guandú.



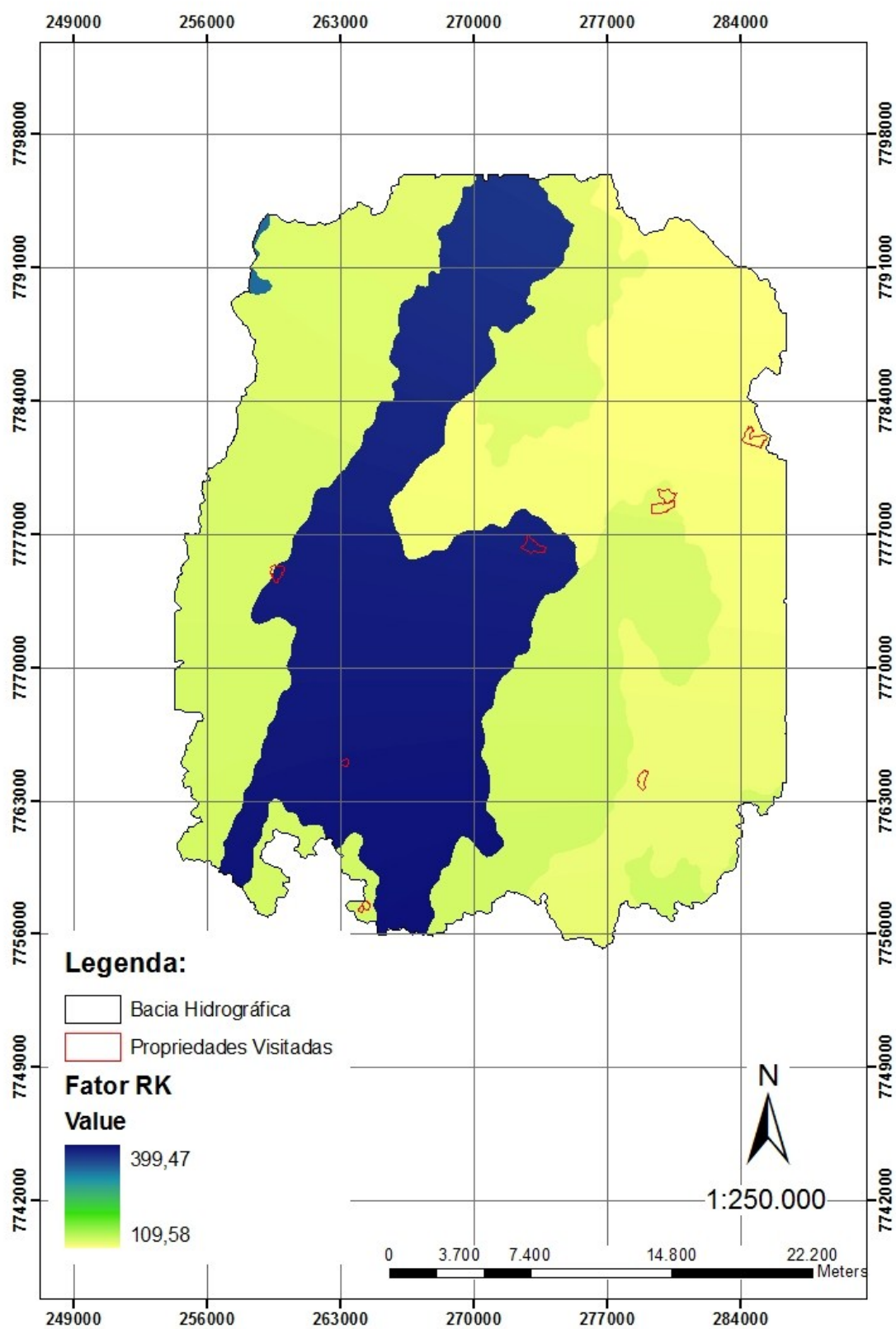
Mapa 5.15: Fator R da bacia hidrográfica do Rio São José.

- Fator RK:

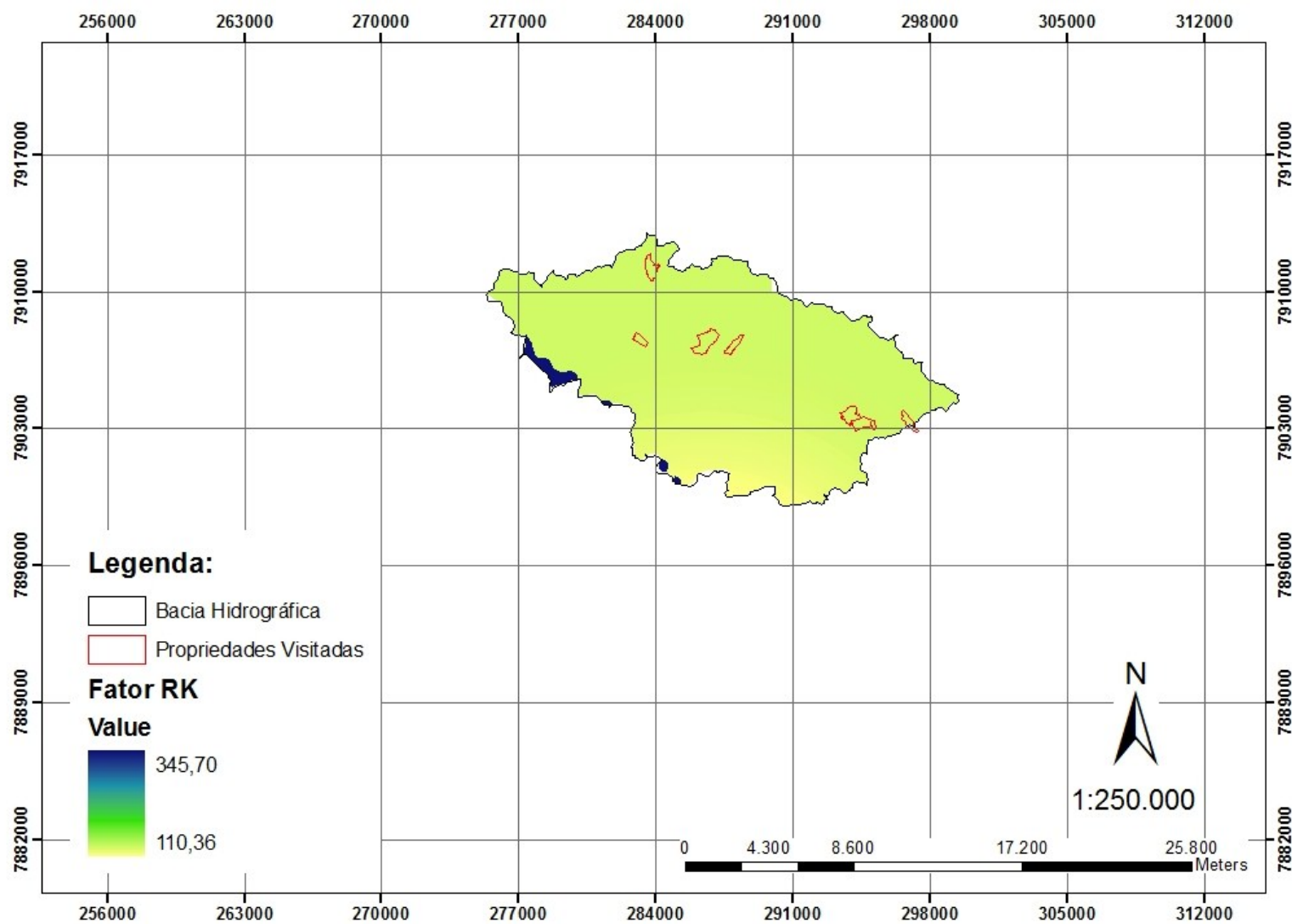
Os parâmetros de erodibilidade do solo (K) e erosividade da chuva (R), conforme já mencionado, foram obtidos separadamente e depois multiplicados para se obter o que foi denominado de fator RK.



Mapa 5.16: Fator RK da bacia hidrográfica do Rio Benevente.



Mapa 5.17: Fator RK da bacia hidrográfica do Rio Guandú.



Mapa 5.18: Fator RK da bacia hidrográfica do Rio São José.

A observação dos mapas permite ver que entre as regiões hidrográficas há uma considerável variação entre os valores mínimos e máximos em cada situação, assumindo assim que há diversos tipos de combinações entre os fatores RK nas áreas consideradas. Para mostrar esta variabilidade, verificou-se os valores médios obtidos para este parâmetro considerando todas as parcelas de bacias hidrográficas analisadas nesta pesquisa, que mostrou, respectivamente, os valores de 197,56; 201,52 e 117,20 para o Benevente, o Guandú e o São José, e os desvios-padrão de 56,98; 121,18 e 25,76.

Os valores médios do fator RK para cada propriedade e os respectivos desvios-padrão são apresentados na tabela 5.13 a seguir.

Tabela 5.13: Valores médios e desvios-padrão do fator RK nas propriedades analisadas.

Propriedades	Fator RK		Propriedades	Fator RK	
	Média	Desvio Padrão		Média	Desvio Padrão
1	249,59	0,56	16	385,38	0,17
2	248,02	0,44	17	132,64	0,01
3	243,72	1,39	18	394,05	0,05
4	247,47	0,35	19	132,64	0,02
5	247,24	0,35	20	126,82	2,96
6	243,35	0,41	21	98,29	0,06
7	247,66	0,46	22	113,51	0,06
8	244,56	0,71	23	114,89	0,07
9	241,2	1,01	24	115,23	0
10	164,14	0,39	25	115,27	0
11	242,51	0,65	26	114,88	0,07
12	241,83	0,53	27	110,61	0,23
13	245,61	0,53	28	115,22	0,02
14	320,37	1,41	29	115,21	0,02
15	127,45	0,36	30	115,21	0,01

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

A tabela 5.13 possibilita algumas considerações de agrupamento dos resultados verificados, que refletem a localização entre as propriedades, como as propriedades do Benevente, em que apenas a propriedade 10, localizada distante das demais, apresentou uma variação

significativa nos valores de RK. Esse mesmo agrupamento pode ser verificado nas propriedades do Rio São José.

Outra análise resultante desta tabela é que não há variação significativa no interior das propriedades, fazendo com que o valor médio seja um bom parâmetro para medição deste fator.

5.1.3 Fator de Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

Os fatores de uso e ocupação do solo (C) e de práticas conservacionistas (P) foram estabelecidos através do mapeamento realizado nas 30 propriedades rurais selecionadas para análise. Primeiramente, determinou-se o fator de uso, manejo e práticas de conservação do solo (CP) para as condições atuais do solo e depois o mesmo parâmetro CP com proposição de alteração de alguns cenários nas propriedades, com vistas a promover a utilização de maneira mais conservacionista do mesmo. Apresentam-se a seguir os resultados de cada grupo de consideração do parâmetro de uso, manejo e práticas conservacionistas do solo.

5.1.3.1. Fator CP atual

O fator de uso, manejo e práticas conservacionistas do solo caracterizado de acordo com a situação atual das propriedades foi gerado a partir da discretização das áreas das propriedades conforme a utilização da mesma e a existência de alguma atividade de conservação relacionada a esta atividade. Na tabela 5.14 estão dispostos os diagnósticos de uso do solo resultantes de cada parcela de bacia hidrográfica analisada.

Tabela 5.14: Diagnóstico de uso e ocupação do solo das propriedades, exposição agrupada por bacias hidrográficas.

Uso do Solo	Benevente	Guandu	São José
Áreas expostas	1,35%	0,65%	1,39%
Banana	2,20%	0,06%	0,04%
Café	2,14%	17,68%	24,32%
Café consorciado com banana	8,97%	0,92%	3,18%
Cana de açúcar	0,00%	0,16%	0,00%
Capoeira	7,83%	8,03%	4,14%
Edificações	0,08%	0,12%	0,12%
Eucalipto	3,38%	0,41%	8,63%
Frutíferas	0,29%	0,56%	1,23%
Macega	3,38%	6,67%	5,63%
Mata Nativa	49,90%	28,89%	17,57%
Olerícolas	0,11%	2,27%	0,11%
Pastagem	19,51%	32,31%	31,25%
Pastagem Degradada	0,50%	0,92%	1,57%
Pedra	0,17%	0,24%	0,72%
Represa	0,01%	0,11%	0,10%
Seringueira	0,18%	0,00%	0,00%
Total	100,00%	100,00%	100,00%

Para entender melhor o agrupamento dos usos e ocupações do solo em cada região considerada, seguem os gráficos 5.9 a 5.11 que expõem o percentual de participação de cada uso do solo no somatório das propriedades que compõe cada bacia hidrográfica.

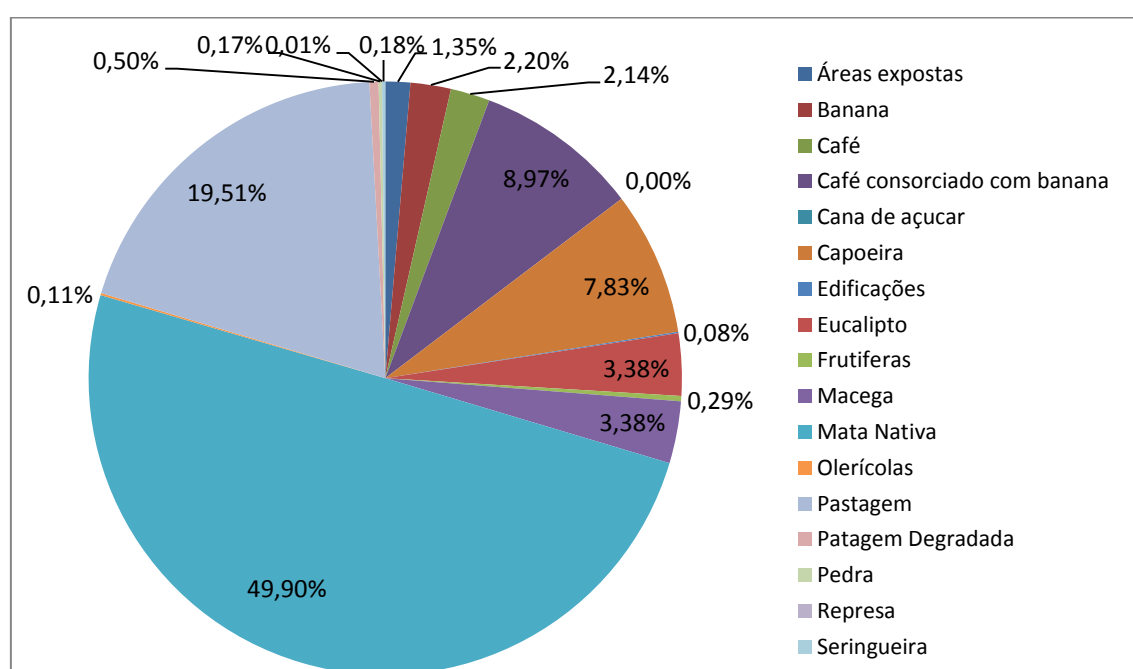


Gráfico 5.9: Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Benevente.

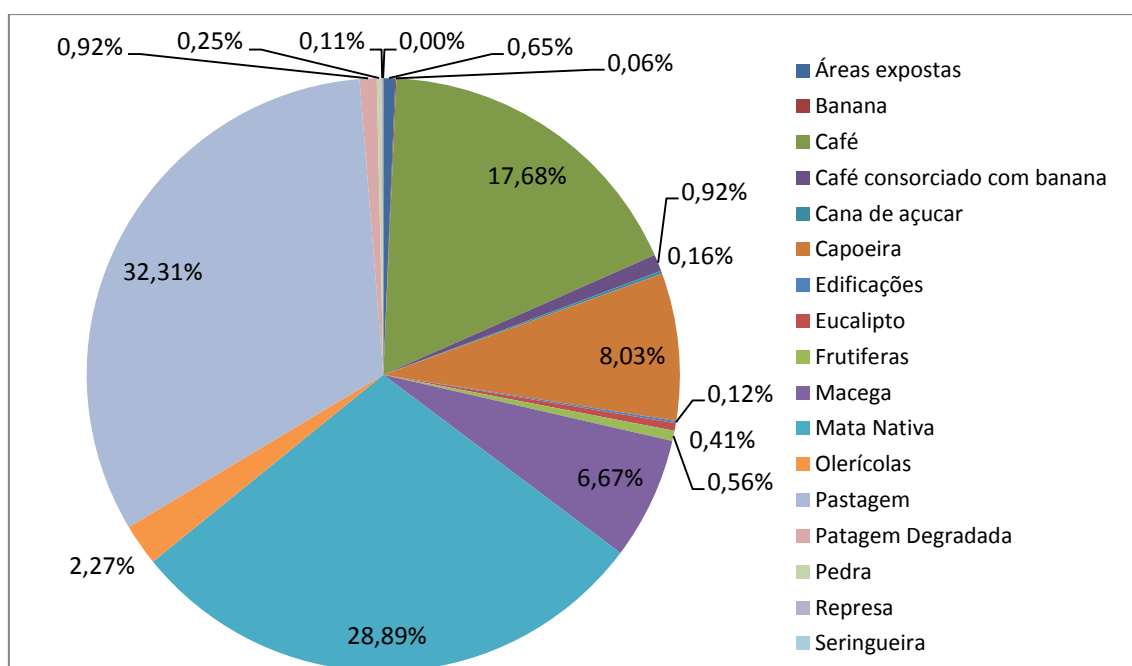


Gráfico 5.10: Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Guandú.

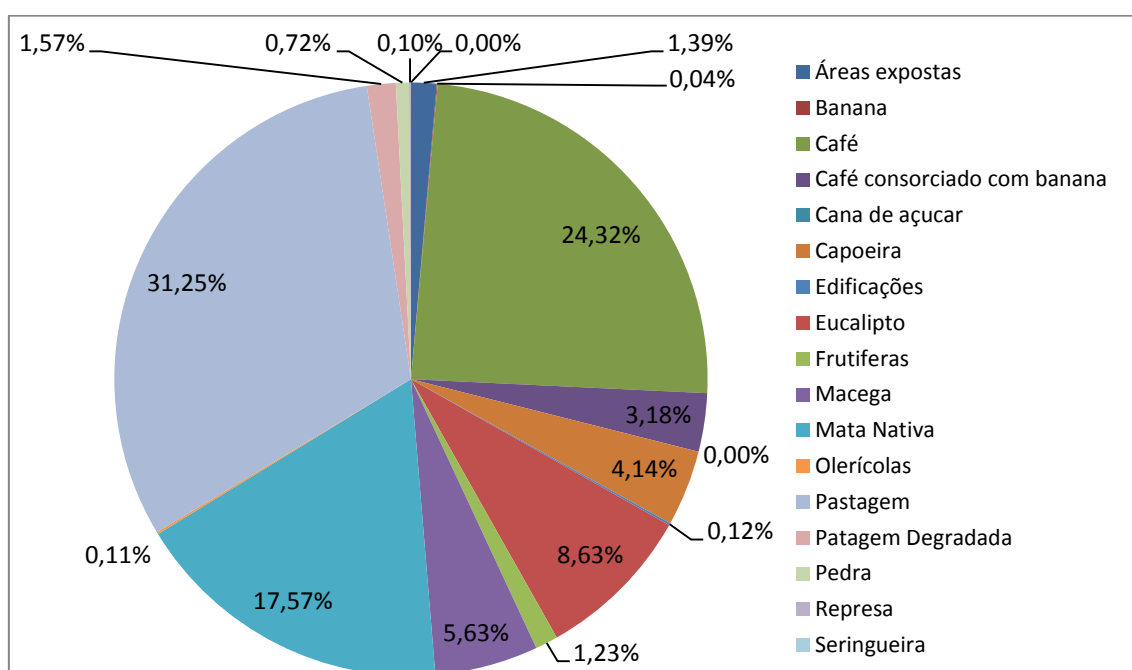


Gráfico 5.11: Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio São José.

As informações registradas acima possibilitam observar características destas regiões e fazer comparações entre as mesmas quanto aos usos do solo verificados. Vale ressaltar que as informações extraídas tem por base apenas as áreas das propriedades analisadas e não a bacia hidrográfica completa. As principais observações estão listadas a seguir e servirão para subsidiar as avaliações sobre impactos de perda e conservação do solo:

- Os percentuais de mata nativa registrados pelas propriedades nas bacias hidrográficas mostram que, principalmente na região do Benevente e do Guandú, onde os valores são em média respectivamente 50,22% e 30,36% de mata nativa, os padrões legais de percentuais mínimos de mata preservada por propriedade são cumpridos em todas as propriedades. Na área do Benevente este fato decorre da forte influência da declividade em muitas propriedades, que por apresentarem áreas muito íngremes, de difícil acesso, favorecem a destinação da área para a preservação ambiental. Isso pode ser verificado no gráfico 5.3, que evidencia o padrão de declividade das propriedades analisadas no Benevente como bastante elevado. Já a região do Rio São José em que as propriedades apresentam em média um percentual de mata nativa que representa 17,91% da área da propriedade e onde 4 propriedades não cumpriram o percentual mínimo legal estabelecido de mata preservada, ressalta-se atenção quanto a proposição dos usos alternativos.
- As áreas correspondentes aos estágios de capoeira e macega nas três regiões de análise também compõem o que foi denominado de fases de recomposição florestal e representam, considerando-se em conjunto os dois estágios, 16,80% na região do Benevente, 14,70% no Guandú e 9,77% no São José.
- De modo geral, o cultivo do café acrescido do café consorciado com milho e banana constitui a base da extração de renda retirada das propriedades visitadas das três regiões hidrográficas de análise desta pesquisa. No Benevente equivalem a 11,11% da área das propriedades, enquanto que nas regiões do Guandú e do São José representam respectivamente 18,60% e 27,50%. Estes percentuais não foram considerados elevados, mas foi importante também observar as áreas onde este cultivo foi realizado e o manejo praticado, com o intuito de minimizar os impactos gerados por estas atividades.
- As regiões de pastagem e pastagem degradada somam o equivalente a 20,01% na região do Benevente, 33,23% no Guandú e 32,82% no São José. Devido a área representativa e ao impacto elevado que ocasionam na perda de solo, estas regiões constituem grande preocupação quanto ao potencial de perda de solo resultante.
- A cultura de eucalipto é representativa na bacia hidrográfica do Rio São José, equivalendo a 8,63% da área.
- Alguns outros usos, apesar de serem realizados em pequenas porções das áreas das propriedades, são bastante significativos para considerações do potencial de perda de solo da propriedade, como as áreas expostas que no Benevente representam 1,35% da área, a cana de

açúcar que está presente na Bacia do Rio Guandú em 0,16%, e olerícolas que na bacia do Guandú representam 2,27% da área.

Já quanto ao manejo do solo, que corresponde às práticas conservacionistas adotadas para minimizar o impacto da degradação sobre o solo, foi observado que as práticas de manejo estavam interligadas ao tipo de uso do solo e não apresentavam variação significativa com a mudança das regiões. As principais práticas de conservação do solo verificadas foram: cordões de vegetação permanente em áreas de mata nativa, capoeira e macega; plantio em contorno com alternância de capinas nas lavouras de café; e plantio em contorno nas áreas de eucalipto.

Assim, a partir do mapeamento das propriedades e da classificação dos usos do solo (C) e das práticas de conservação (P), buscou-se em referenciais bibliográficos os valores referentes a estes parâmetros, conforme tabela 4.12. A sequência deste procedimento é a determinação dos valores do fator CP para cada parcela estabelecida, e consequentemente os valores médios para cada propriedade. Segue na tabela 5.15 o valor médio do fator CP atual para as 30 propriedades analisadas.

Tabela 5.15: Valores médios do fator CP nas propriedades analisadas

Propriedades	Média	Desvio-padrão	Propriedades	Média	Desvio-padrão
1	0,015	0,037	16	0,009	0,03
2	0,016	0,024	17	0,087	0,21
3	0,008	0,046	18	0,053	0,048
4	0,007	0,015	19	0,023	0,11
5	0,008	0,12	20	0,021	0,07
6	0,028	0,13	21	0,032	0,051
7	0,022	0,08	22	0,019	0,06
8	0,019	0,08	23	0,017	0,07
9	0,012	0,033	24	0,017	0,09
10	0,012	0,055	25	0,036	0,13
11	0,009	0,056	26	0,021	0,1
12	0,016	0,082	27	0,024	0,13
13	0,027	19,45	28	0,031	0,13
14	0,036	20,75	29	0,088	0,131
15	0,029	0,05	30	0,045	0,13

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

5.1.3.2. Fator CP conservacionista

A orientação do fator de uso e práticas do solo conservacionista (CP conservacionista) foi baseada na proposição de cenários alternativos que propiciassem um manejo mais sustentável da propriedade, no sentido de redução do potencial de perda de solo da mesma. A tabela 5.16 apresenta as alterações de tipos de uso do solo e/ou manejo que foram consideradas nas propriedades, com base nas diretrizes estabelecidas na metodologia. Vale ressaltar que estas proposições de alternativas de uso e manejo do solo foram estabelecidas sem qualquer participação dos proprietários, sendo meramente consideradas indicações gerais de práticas de uso do solo mais conservacionistas para parcelas de área das propriedades.

Tabela 5.16: Proposições de práticas alternativas para as propriedades analisadas

Prop.	Uso/ prática atual	Uso/ prática conservacionista proposta	Área de intervenção (ha)	Percentual de área da propriedade (%)
1	Pastagem	Macega	1,93	2,68
	Pastagem degradada	Macega		
2	Bananas	Bananas cultivadas sob a forma de contorno	0,40	4,39
3	Olerícolas	Macega	0,66	2,09
4	Pastagem	Macega	5,59	10,35
5	Pastagem	Macega	15,63	33,85
6	Pastagem	Pastagem com terraceamento	6,20	30,39
7	Sem sugestões	-	-	-
8	Pastagem	Pastagem com terraceamento	15,72	32,47
9	Pastagem	Macega	6,35	8,73
10	Café novo	Café consorciado	30,02	38,54
	Pastagem	Macega		
11	Pastagem	Macega	17,19	35,51
	Pastagem degradada	Macega		
	Terraço	Pastagem		
12	Bananas	Bananas cultivadas sob a forma de contorno	21,1	48,49
	Pastagem	Macega		
13	Bananas	Bananas cultivadas sob a forma de contorno	7,53	32,39
	Pastagem degradada	Macega		
14	Pastagem	Pastagem com terraceamento	15,77	38,81
15	Café novo	Café consorciado	23,08	44,95
	Pastagem	Pastagem com terraceamento		
16	Pastagem	Pastagem com terraceamento	22,59	39,04
17	Café novo	Café consorciado	1,03	15,82
18	Café novo	Café consorciado	2,32	20,86
19	Sem sugestões	-	-	-
20	Milho	Milho com plantio em contorno	15,77	34,97
	Pastagem	Macega		
21	Olerícolas	Olerícolas cultivadas sob a forma de contorno	20,94	67,09
	Pastagem degradada	Pastagem com terraceamento		
22	Café novo	Café consorciado	24,88	38,66
	Pastagem	Pastagem com terraceamento		
23	Pastagem	Pastagem com terraceamento	34,47	63,42
	Pastagem degradada	Pastagem com terraceamento		
24	Pastagem	Macega	6,70	27,64
	Pastagem degradada	Macega		
25	Pastagem	Pastagem com terraceamento	1,95	3,75
26	Pastagem	Pastagem com terraceamento	14,4	27,85
27	Pastagem	Macega	10,03	26,47
28	Pastagem	Pastagem com terraceamento	50,15	56,69
29	Sem sugestões	-	-	-
30	Pastagem	Macega	0,45	1,41
	Pastagem degradada	Macega		

Nota: As propriedades 7, 19 e 29 não tiveram sugestões de alteração de uso do solo por não se enquadrarem em nenhum critério dos cenários alternativos propostos.

Para melhor compreensão da proposta deste cenário alternativo, cita-se o exemplo da propriedade 15, onde verifica-se que são propostas duas alterações sendo uma relacionada ao tipo de uso do solo e outra uma prática conservacionista a ser adotada. A primeira modificação proposta refere-se à sugestão de alteração do café puro em estágio novo por um café cultivado de maneira consorciada, seja com banana ou milho, e a segunda indicação é a de promover o terraceamento da área de pastagem da propriedade, visto que ela apresenta um elevado potencial de erosão, mas não pode ser transformada em outro uso, pois é utilizada para criação bovina. Estas duas alterações que abarcariam 23,08 ha da propriedade, representado cerca de 44,95% da mesma.

O raciocínio para as outras situações é similar ao apresentado para a propriedade 15. Assim, como resultado das alterações propostas, tem-se os valores médios por propriedade do fator CP conservacionista originado dos cenários alternativos, que estão expostos na tabela 5.17.

Tabela 5.17: Valores médios de CP conservacionistas com proposição de práticas alternativas nas propriedades analisadas

Propriedades	Média	Desvio-padrão	Propriedades	Média	Desvio-padrão
1	0,012	0,031	16	0,007	0,031
2	0,015	0,019	17	0,072	0,21
3	0,005	0,041	18	0,032	0,016
4	0,006	0,015	19	-	
5	0,005	0,012	20	0,018	0,072
6	0,026	0,13	21	0,02	0,034
7	-		22	0,012	0,058
8	0,017	0,08	23	0,011	0,07
9	0,011	0,033	24	0,014	0,09
10	0,006	0,05	25	0,035	0,13
11	0,004	0,009	26	0,017	0,084
12	-		27	0,022	0,13
13	0,013	0,02	28	0,029	0,13
14	0,035	0,15	29	-	
15	0,008	0,014	30	0,044	0,13

Nota¹: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

Nota²: Nas propriedades 7,19 e 29 não foi possível propor alteração do uso do solo para formas mais conservacionistas.

5.1.4 Perda de solo das Propriedades Analisadas

O potencial de perda de solo das propriedades é determinado pelo conjunto dos fatores componentes da EUPS explicitados acima (LS, RK e CP). O produto destes parâmetros foi gerado para todas as circunstâncias analisadas, sendo as três metodologias estabelecidas para a determinação do fator LS em área restrita (quadro 5.1) e as duas considerações realizadas sobre o fator CP (cenário atual e conservacionista) que ocorreram na área total das propriedades.

Os resultados médios de perda de solo, por propriedade, encontrados em cada análise realizada, estão expostos na tabela 5.18, explicitando a metodologia considerada para o fator LS e CP em cada cálculo.

Tabela 5.18: Valores médios de perda de solo em ton/(ha.ano) nas diferentes metodologias de determinação dos fatores consideradas

	Perda de Solo nas Propriedades - ton/(ha.ano)				
	Área restrita			Área total das propriedades	
	I	II	III	III	III
Metodologia LS					
Tipo de CP	Atual	Atual	Atual	Atual	Alternativo
Propriedades					
1	0,059	0,033	0,100	96,390	76,439
2	0,210	0,170	0,470	141,644	106,656
3	0,034	0,020	0,070	24,436	20,710
4	0,054	0,052	0,150	77,827	68,477
5	0,607	0,046	0,210	45,074	23,953
6	0,088	0,066	0,156	98,365	96,189
7	0,043	0,036	0,130	178,549	-
8	0,048	0,016	0,048	51,054	40,623
9	0,003	0,045	0,128	77,791	75,174
10	0,309	0,009	0,021	32,956	16,653
11	0,045	0,048	0,087	55,512	21,886
12	0,400	0,033	0,067	75,964	67,937
13	0,237	0,020	0,050	156,329	73,948
14	0,654	0,035	0,079	113,813	109,002
15	0,710	0,022	0,065	83,758	20,460
16	0,061	0,028	0,070	31,786	21,243
17	0,025	0,011	0,024	115,538	8,028
18	1,793	0,590	1,340	483,766	292,352
19	0,026	0,011	0,026	54,947	-
20	0,534	0,130	0,360	26,628	23,730
21	1,300	1,200	2,560	74,288	45,219
22	0,035	0,026	0,076	44,100	33,021
23	0,158	0,005	0,017	16,370	11,111
24	1,220	0,017	0,050	17,744	8,025
25	0,648	0,002	0,003	43,001	41,972
26	0,015	0,006	0,015	25,173	24,531
27	0,197	0,057	0,170	26,863	25,947
28	0,204	0,001	0,003	16,743	14,723
29	1,410	0,180	0,660	121,742	-
30	5,720	0,005	0,016	46,478	45,992

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

Para compreensão da significativa diferença entre os valores resultantes da simulação sobre a área restrita e da área total da propriedade, vale a ressalva de que durante a seleção da área restrita, o critério de escolha somente de áreas que possuam vegetação em algum estágio de

regeneração florestal ou mata nativa gerou baixos valores no fator CP, e que influenciaram desta mesma forma o produto final da EUPS.

Para a análise qualitativa do potencial de perda de solo das propriedades tomou-se como base o cálculo da EUPS de acordo com o cenário atual de CP e a metodologia III de determinação de LS em toda a área da propriedade. Segundo a classificação proposta por Mitsova (2012) (1994), tabela 3.6, verificou-se que dentre o total de 30 propriedades visitadas, 13 tem potencial médio de perda de solo por erosão hídrica, 12 foram enquadradas como de médio a forte potencial, 4 foram avaliadas com forte potencial e 1, neste caso a propriedade 18, foi classificada como muito forte potencialidade de perda de solo.

As razões associadas ao elevado montante de perda de solo registrado pela propriedade 18 (483,76 ton/ha.ano) estão relacionadas a altos valores apontados por todos os fatores componentes da EUPS analisados, sendo principalmente o parâmetro RK (394,05) responsável por esta ocorrência.

Observando esta classificação sob a ótica das bacias hidrográficas o que se percebe é que a bacia do Benevente tem suas propriedades concentradas em áreas com potencial médio a forte de perda de solo (7). Já as propriedades do Guandú estão bem distribuídas entre as classes de média (3) e média a forte (4). E a bacia do São José está quase que totalmente na classe média de potencial de perda de solo, com exceção da propriedade 29, que foi enquadrada com forte potencial de perda de solo.

Com base em todos os dados e informações gerados aqui, a análise a que se propôs esta pesquisa foi segmentada conforme os objetivos específicos da mesma, e apresenta-se a partir do tópico seguinte.

5.2. Avaliação da Sensibilidade do Fator Topográfico quanto ao Emprego de Técnicas de Geoprocessamento e da Formulação Utilizada em sua Determinação

A análise comparativa das três metodologias estabelecidas para o fator topográfico (LS) foi proposta para mostrar o impacto que a seleção de métodos que possuam simplificações de cálculo ocasionam sobre os valores resultantes do parâmetro avaliado e do potencial de perda

de solo da área considerada, em relação a adoção de uma metodologia mais variável, condizente com os fenômenos topológicos reais que ocorrem na região.

O procedimento realizado foi uma aproximação entre a técnica atualmente utilizada pelo PSA estadual, a qual apresenta algumas simplificações, com uma metodologia mais detalhada, que conforme mencionado acima, possui parâmetros mais discretizados e variáveis, e com a utilização de técnicas de geoprocessamento demonstra melhor as características da área considerada. Deste modo, foram estabelecidos os três métodos de análise, sendo que a metodologia I é baseada na técnica atual (detalhada no tópico 3.2.8), a metodologia II é uma forma intermediária entre as duas situações analisadas, que apenas será calculada para melhor compreensão do comportamento dos fatores componentes do LS, e a metodologia III que é o método proposto de cálculo porque mede com maior confiabilidade o fator. As informações técnicas dos três métodos podem ser visualizadas no quadro 5.1.

Para tanto, as análises realizadas buscaram verificar na diferença entre os resultados médios de LS obtidos pelas três metodologias a existência de padrões e a magnitude da dispersão destes valores. Com o mesmo propósito comparou-se as formulações utilizadas pelos métodos e foi medida a sensibilidade da perda de solo resultante da alteração de técnicas. Por último, foi verificada a representatividade do valor médio de LS oriundo da terceira metodologia para mensurar os fenômenos reais que ocorrem nas regiões.

Uma importante ressalva tem de ser feita quanto à área de abrangência desta avaliação, pois considerou-se apenas as parcelas de área das propriedades, sendo estas as regiões das propriedades selecionadas pelo projeto Produtores de Água, seguindo os critérios estabelecidos pelo programa. Isso porque as simplificações realizadas sobre a metodologia I não possibilitaram que seu cálculo fosse feito para toda a área das propriedades.

5.2.1 Influência do Estabelecimento de Simplificações Sobre o Fator Topográfico (LS)

Para verificação do impacto que o estabelecimento de simplificações metodológicas resulta sobre o fator topográfico, a presente seção observou o comportamento e as variações dos fatores de LS obtidas pelas três metodologias, e deste modo, captou as questões de análise que serão base do entendimento das fórmulas e da verificação do impacto da diferença entre os

fatores obtidos pelos distintos métodos sobre o fator topográfico (LS) e a perda de solo potencial das propriedades.

Como já mencionado anteriormente, a metodologia III foi tida como a que representa com maior confiabilidade as transformações decorrentes na topografia das regiões analisadas, pois permite livremente a variabilidade dos parâmetros componentes. Assim, o prosseguimento da análise desta etapa avaliará a metodologia atual (I) que apresenta simplificações para os fatores L e S e a metodologia intermediária (II) que permite a variação do parâmetro de S, mas mantém L fixo, em relação ao método proposto (III).

O primeiro exame realizado foi uma análise visual dos valores médios de LS resultante das três metodologias (tabela 5.5) nas 30 propriedades rurais visitadas, com a intenção de verificar se há algum indicativo de padrão e magnitude das variações entre os métodos. O gráfico 5.12 expõe as marcações pontuais destes valores nas referidas metodologias.

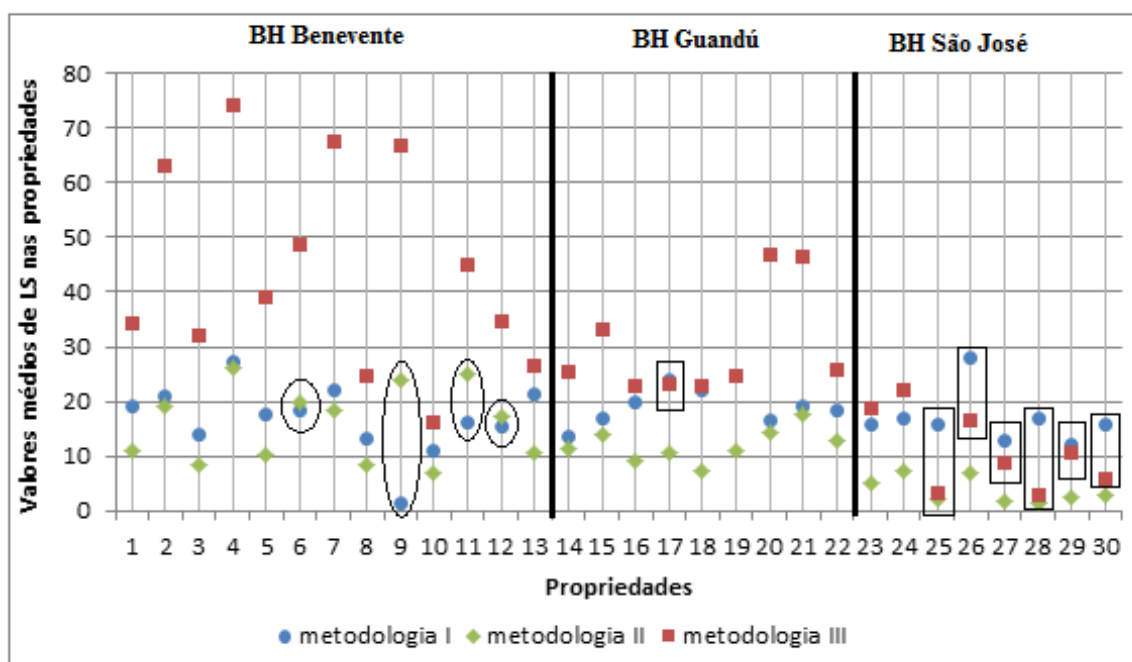


Gráfico 5.12: Marcação dos valores de LS nas três metodologias analisadas

Tomando os valores do fator LS da metodologia II como base, pode-se observar que os resultados da metodologia I, em geral, situaram-se acima, mas com magnitude variada, dos valores gerados pelo método II, com exceção das propriedades 6, 9, 11 e 12 (circuladas acima). Já sobre a metodologia III, a princípio se verificou que estes resultados apresentaram

sempre valores de grandeza superior aos calculados pela metodologia II, mas não se pode determinar uma proporcionalidade entre estas variações.

Para avaliar a relação existente entre os valores resultantes da metodologia I em comparação com o método III foi feita uma segmentação dos valores de LS de acordo com as bacias hidrográficas que são consideradas neste estudo, mas de modo geral o que se pode extrair é que esta última mostrou resultados com valores de grandeza superior em 23 propriedades de um total de 30. As exceções estão marcadas sob a forma de um quadrado na figura 5.12.

Conforme já foi mencionado, as propriedades visitadas de número 1 a 13 pertencem a bacia hidrográfica do rio Benevente, as de número 14 a 22 estão contidas na bacia do rio Guandú e as propriedades de número 23 a 30 fazem parte da bacia do rio São José. A partir desta distribuição observou-se que todas as propriedades pertencentes a bacia hidrográfica do Benevente e do Guandú mostraram valores superiores da metodologia III em relação a I, com exceção da propriedade 17, que apesar de apontar situação contrária, mostrou resultados muito próximos, com uma diferença de apenas 0,95. Já na maioria das propriedades localizadas na bacia do São José ocorreu uma situação contrária onde os valores gerados pela metodologia I foram superiores aos mostrados pela metodologia III.

Da avaliação desta primeira análise teve-se que, em geral, os resultados do fator LS verificados na metodologia III foram superiores aos da metodologia I que, por sua vez, foram maiores que os da metodologia II. A interpretação destas relações possibilitou a caracterização dos principais cenários que serão investigados.

O primeiro aspecto aponta para a declividade média obtida nas propriedades. Nesta questão o que se pode auferir é que majoritariamente as propriedades tiveram seu fator declividade sobrestimado pela metodologia I de cálculo do fator LS, pois a possibilidade de variação da declividade na propriedade (alteração da metodologia I para II) demonstrou uma tendência a redução dos valores médios de declividade considerados no cálculo de LS das propriedades, dando credibilidade à suposição de que o enquadramento das declividades em apenas três faixas faz com que os valores de centro de classe sobrestimem na maioria dos casos as declividades utilizadas para representar a área (esta afirmação também pode ser vista na comparação entre as tabelas de resultados de declividade 5.1 e 5.2).

Já quando se observa a mudança entre as metodologias II e III, que mantêm os mesmos valores de declividade, mas no segundo método ainda possibilita a variação do parâmetro de comprimento da rampa na área analisada e altera a fórmula de cálculo, o que se pode comentar é que nesta primeira abordagem a metodologia III visivelmente resultou em valores de grandeza maior do que a metodologia II, mas ainda não pode ser estabelecido um padrão entre elas, assim apenas foi confirmado que este valor na maioria das situações apresentou uma magnitude maior de variação.

Agora a análise se concentrará, primeiramente, nos valores de LS registrados pelas três metodologias de cálculo aplicadas à área restrita das 30 propriedades. De acordo com a tabela 5.19, que aponta os resultados destaques das metodologias de LS, alguns pontos apresentados a seguir são relevantes de se considerar.

Tabela 5.19: Valores máximos e mínimos de LS das propriedades, de acordo com a metodologia considerada

Metodologia de determinação de LS	Valor máximo	Propriedade	Valor mínimo	Propriedade
I	28,14	26	1,42	9
II	26,19	4	1,39	28
III	74,19	4	2,87	28

Observando as propriedades sob o cálculo conforme a metodologia I podem-se verificar que o maior valor verificado foi de 28,14 na propriedade número 26 e o menor valor na propriedade 9, referente a 1,42. Apenas para comparação e afirmação de que não há um padrão de variação entre estas metodologias de cálculo, no método II estas propriedades apresentaram respectivamente valores de LS de 6,85 e 23,91 e no método III valores na ordem de 16,57 e 66,69.

As propriedades com maior destaque de acordo com a metodologia II foram a número 4, que mostrou o maior valor de LS (26,19) e a de número 28 que registrou o menor valor entre as áreas analisadas (1,39). Na comparação com a metodologia III este padrão manteve-se indicando que entre estas metodologias pode-se pensar na possibilidade de haver um ordenamento padrão entre as propriedades. Para aumentar a credibilidade desta suposição vale a pena ressaltar que os oito maiores valores de LS fornecidos por estas duas metodologias se agrupados, são os mesmos, assim como os cinco menores.

Para acrescentar mais confiabilidade entre as suposições feitas até agora, serão analisados os erros médios gerados por estas metodologias. O que se pretende é verificar qual é o valor deste erro, em comparação com a amplitude total mostrada pelas metodologias, assim ter-se-á noção da distancia entre os valores apontados por tais análises. A tabela 5.20 apresenta a distancia média verificada entre as metodologias de determinação do fator topográfico.

Tabela 5.20: Erro médio quadrático entre as metodologias de LS analisadas

Propriedades	Erro médio	
	Metodologia I/III	Metodologia II/III
1	0,44	0,68
2	0,67	0,70
3	0,57	0,74
4	0,63	0,65
5	0,55	0,74
6	0,62	0,59
7	0,67	0,73
8	0,48	0,66
9	0,98	0,64
10	0,32	0,56
11	0,64	0,45
12	0,55	0,50
13	0,19	0,60
14	0,47	0,55
15	0,49	0,58
16	0,12	0,60
17	0,04	0,53
18	0,04	0,69
19	0,00	0,56
20	0,65	0,69
21	0,59	0,62
22	0,29	0,51
23	0,15	0,72
24	0,24	0,67
25	3,95	0,38
26	0,70	0,59
27	0,50	0,78
28	4,84	0,52
29	0,16	0,78
30	1,80	0,49
Média	0,74	0,62
Desvio-padrão	1,06	0,10

O erro médio quadrático entre as três metodologias foi considerado muito elevado, mostrando então que há uma grande dispersão entre os valores médios apontados pelas três metodologias analisadas e se pode determinar uma proporcionalidade entre as mesmas.

A seguir serão analisados as formulações componentes das metodologias de determinação de LS.

5.2.2 Verificação do Comportamento das Formulações de Cálculo do Fator LS

As formulações componentes das metodologias de determinação de LS utilizadas nesta pesquisa foram a equação de Bertoni (1990), presente nos métodos I e II, e de Mitsova (2012), no método III, que são respectivamente as equações 3.5 e 3.6. Esta seção teve por objetivo avaliar as características do comportamento das equações considerando a variação dos parâmetros de comprimento de rampa (L) e declividade (S) componentes das mesmas.

Para tanto, alguns comentários acerca das metodologias tem que ser expostos:

- A consideração do fator comprimento de rampa (L) constante nas metodologias I e II, adotado de forma fixa no valor de 100m, ocorreu devido a uma simplificação realizada com o intuito de facilitar os cálculos. Esta suposição considerou a existência de rampas uniformes de 100 metros ao entorno de cursos d'água e assim não constitui uma medida realística para determinação do fator LS, pois não é capaz de mensurar o impacto existente a montante da área analisada ocasionado pelos diferentes formatos e tamanhos das vertentes.
- A equação de Bertoni, por sua vez, tem o fator comprimento de rampa (L) possível de ser calculado sob diversas formas, as principais foram mostradas no tópico 3.1.1.3. Nesta análise não será utilizada nenhuma metodologia de cálculo em especial para o fator, mas quando necessário para verificar a variação do parâmetro, alguns valores gerais serão adotados.
- E sobre a metodologia proposta por Mitsova (2012), conforme já mencionado, o seu critério de comprimento de rampa é determinado através do cálculo do fluxo acumulado em cada célula de análise da área considerada. Deste modo, o presente método mensura relativamente todo o impacto a montante que cada parcela da área analisada sofre, com o carreamento do solo.

O primeiro aspecto avaliado foi o comportamento das duas equações de determinação de LS sobre a consideração da variação da declividade em determinadas escalas e a livre variação do fator L. O gráfico 5.13 a seguir possibilita visualizar que, se fosse mantida a mesma possibilidade de variação do fator L sobre a metodologia I e III, entretanto se alterasse a declividade, a diferença nos resultados do fator LS seria a verificada entre as duas linhas abaixo.

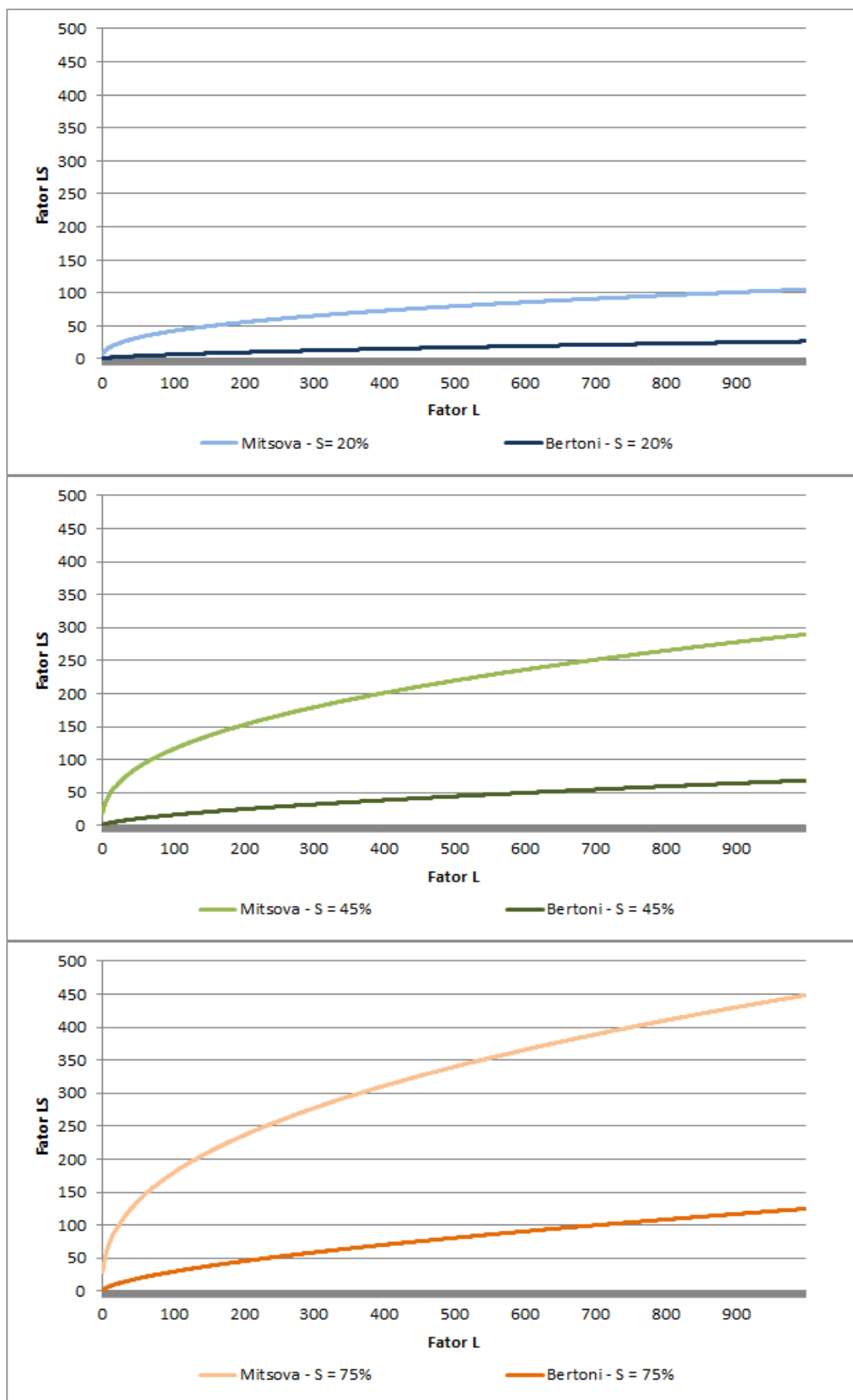


Gráfico 5.13: Gráfico de comparação entre as metodologias de determinação de LS, considerando-se a declividade (S) como constante ao longo das retas.

O que se pode perceber a partir destes gráficos é que entre as duas metodologias há um distanciamento entre as duas faixas, a medida que o terreno se torna mais declivoso, sendo que a distância máxima ocorre na declividade de 90%. Considerando a declividade média das propriedades², disposta na tabela 5.4, é possível estabelecer que a maioria das propriedades do Benevente encontra-se em uma zona de declividade média elevada (acima de 45%), enquanto no Guandú a maior parte está em uma zona intermediária de declividade (entre 20% e 45%), e as propriedades do São José situam-se majoritariamente em uma zona com baixa declividade (abaixo de 20%). Tomando esta classificação, o gráfico anterior possibilita afirmar que as diferenças de mudanças no cálculo do fator LS seriam sentidas mais profundamente na região do Benevente do que no São José, podendo afirmar, portanto, que em áreas de baixa declividade a diferença nos resultados de LS obtidas em diferentes metodologias é pequena, e explicando consequentemente, o fato de os valores da metodologia I serem superiores aos verificados pela metodologia III nas propriedades do São José, conforme visualizado no gráfico 5.12.

A comparação entre as duas metodologias, da maneira como realizada no tópico acima gerou resultados conforme o gráfico abaixo, onde o valor de LS resultante pela metodologia II apenas está relacionado ao impacto da faixa de 100m ao redor dos cursos d'água e a metodologia de Mitsova, que mesmo considerando a mesma área acima, considerou o impacto de toda área real a montante, que gera impactos reais sobre esta área.

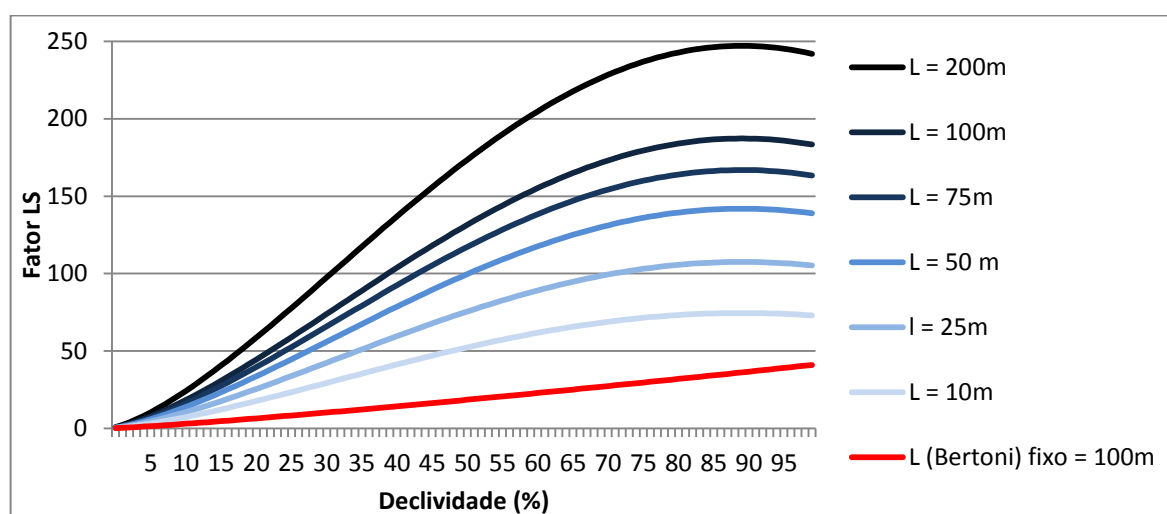


Gráfico 5.14: Gráfico dos valores do Fator LS quando se considerou duas metodologias, sendo que a metodologia de Bertoni tem o L fixo em 100m e a de Mitsova varia conforme a topografia do terreno.

² Neste ponto foi considerada a declividade média da propriedade, pois não foi calculada a declividade média apenas da área restrita de análise.

O que isto nos permite verificar é que a metodologia II não é realística, pois desconsidera a pressão gerada em toda a vertente a montante daquela área considerada. Assim, verifica-se que a metodologia II, que utilizou a formula de Bertoni de maneira simplificada, não é um indicador adequado para se mensurar LS.

A conclusão desta seção é de que a metodologia III é a única que consegue capturar os efeitos reais que o relevo das referidas bacias hidrográficas exerce sobre as áreas analisadas, não sendo portanto, viável a continuação da metodologia atualmente utilizada, pois ela exerce influência para superdimensionar ou subdimensiona os valores, dependendo, principalmente dos valores de declividade observados na região. De maneira geral, em áreas de relevo plano a metodologia atual sobrestima os valores do fator LS, e em áreas declivosas subestima estes mesmos coeficientes.

5.3. Importância de se Considerar o Fator RK como Forma de Relativização Espacial da Perda de Solo

A relevância de se considerar conjuntamente os fatores de Erodibilidade da Chuva (R) e Erosividade do Solo (K) foi verificada por parâmetros que variam espacialmente e devam ser consideradas em análises de perda de solo. O fator R está relacionado ao potencial de impacto da chuva sobre o solo, indicando que quanto maior este coeficiente maior também será a perda de solo da área. Analogamente, o fator K mostra a relação entre o tipo de solo que compõe a área analisada e a perda de solo, evidenciando que um elevado valor do parâmetro K está associado a um tipo de solo com maior propensão de ocasionar erosão. Em conjunto o fator RK refere-se ao potencial de perda de solo gerado pela intensidade pluviométrica e tipo de solo que as regiões apresentam.

A variabilidade destes parâmetros indica que em análises que consideram aspectos relativos a perda de solo, o fator RK deve ser abordado como um relativizador espacial da perda de solo das propriedades. Pois, mesmo que os parâmetros LS e CP da EUPS, apresentem baixos coeficientes em duas regiões distintas, indicando previamente que ambas possuam baixo

potencial a perda de solo, o valor resultante do coeficiente RK poderá mostrar que a perda de solo entre estas áreas é diferente por conta das características próprias de cada região.

Para mostrar a importância da consideração do fator RK para relativização espacial das características das regiões, a seguir será analisado o comportamento deste fator em algumas situações. Primeiramente, será avaliada a variação do fator RK no interior da propriedade e para tanto foi verificada a tabela 5.13 que apresentou os valores médios e de desvio-padrão dos valores de RK calculados para as propriedades.

Com base nos valores médios do fator RK apresentado nas propriedades (tabela 5.13), pode-se verificar que o maior valor entre a razão desvio padrão/valor médio do fator RK é igual a 0,47%, obtido para a propriedade número 14, valor este muito baixo. Deste modo, considerou-se o valor médio do fator RK um bom indicador da condição das propriedades.

A principal análise a ser realizada nesta seção tinha a intensão de selecionar propriedades com semelhantes coeficientes nos parâmetros L.S.C.P. para que a diferença na perda de solo fosse causada pelo distanciamento espacial, e consequentemente, atribuído ao fator RK. Mas, como não foi possível fazer esta seleção, por dificuldade técnica, propôs-se a fazer uma análise de maneira análoga, ou seja, verificando que a importância deste parâmetro na circunstância em que a perda de solo de duas regiões distantes mostra-se semelhante e a diferença é encontrada no referido fator RK.

A tabela 5.21 traz abaixo algumas situações de comparação entre as propriedades mostrando os valores médios de RK, oriundo da tabela 5.13, e da perda de solo total das propriedades, tabela 5.18. Estas situações servirão para exemplificar a análise do comportamento do fator RK nas avaliações descritas acima.

A escolha das situações pretendeu selecionar propriedades com pouca variabilidade na perda de solo e a partir disso verificar qual o padrão de variação que era observado com relação ao fator RK, ocasionado pelo distanciamento espacial entre estas regiões. E para tanto, calculou-se a variabilidade do fator RK.

Tabela 5.21: Áreas com perda de solo semelhante, mas localização espacial distinta e variação no parâmetro RK.

Situação	Propriedade	Bacia Hidrográfica	Perda de Solo da propriedade (ton/ha.ano)	Valores de RK (unid)	Variação do RK	Distancia entre as propriedades (km)
01	21	Guandú	74,29	98,29	59,2%	54,78
	12	Benevente	75,96	241,83		
02	30	São José	46,48	115,21	53,4%	183,64
	5	Benevente	45,07	247,24		
03	10	Benevente	32,96	164,14	57,4%	60,98
	16	Guandú	31,79	385,38		
04	26	São José	25,17	114,88	52,9%	178,69
	3	Benevente	24,44	243,72		
05	19	Guandú	54,95	132,64	45,3%	62,76
	11	Benevente	55,51	242,51		
06	17	Guandú	115,54	132,64	58,6%	17,80
	14	Guandú	113,81	320,37		

A situação 1 evidencia áreas distintas que apresentam valores de perda de solo semelhantes, mostrando que a distinção existente no fator RK é relevante sob a determinação da perda de solo. A intenção aqui é mostrar que o valor de RK possui uma variabilidade espacial elevada, principalmente se consideradas a avaliação comparativa entre bacias hidrográficas ou até mesmo regiões distantes dentro da mesma hidrografia, por conta do diferente regime pluvial e dos tipos de solo existentes nas regiões analisadas.

O primeiro conjunto de dados, por exemplo, faz menção à propriedade 21 situada na bacia hidrográfica do Rio Guandú, e à propriedade 12 localizada na região hidrográfica do Benevente. Desta análise resulta uma variabilidade de 59,25% do fator RK, onde a propriedade localizada no Rio Benevente tem a característica de apresentar um regime pluvial mais intenso e uma melhor qualidade do tipo de solo apresentado do que a propriedade do Guandú. Assim, pode-se mensurar o esforço que é exigido do proprietário para evitar a perda de solo em sua propriedade, que é significativamente maior na bacia do Rio Guandú, uma vez que apresenta valores menores nos fatores RK.

Nas outras quatro circunstâncias (n. 2 a 5) apresenta-se o mesmo padrão da ocorrência detalhada acima, onde visualiza-se que o fator RK é uma medida espacial de relativização do esforço necessário para conter a perda de solo das propriedades. Já a última situação (n. 8) mostra uma comparação entre propriedades pertencentes à mesma bacia hidrográfica, porém

distantes, e que portanto também apresentam uma variação bastante significativa no fator RK da mesma, conforme informações já mostradas sobre a média e o desvio padrão das bacias hidrográficas.

5.4 A Contribuição do Fator CP sobre a Estimativa de Perda de Solo

A análise relativa ao uso do solo e às práticas conservacionistas será feita sobre dois aspectos, primeiro será avaliada a abrangência espacial da análise da perda de solo, evidenciando os benefícios de se considerar a área total da propriedade e não apenas as área de proteção ambiental obrigatória (principalmente APP e Reserva Legal). Em sequência foi verificado o impacto que a alteração do uso do solo e a adoção de práticas conservacionistas terão sobre o potencial de perda de solo das propriedades.

5.4.1. A Análise de Toda a Propriedade como Área de Consideração do Cálculo da Perda de Solo

A Política Nacional de Recursos Hídricos evidencia que a unidade de gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica. Porém, como unidade de ação esta pesquisa evidencia o papel da propriedade rural, pois nesta tem-se uma maior facilidade de identificar as responsabilidades e organizar as ações.

Na questão do PSA o proprietário rural é em muitos casos o agente detentor e responsável pelos serviços fornecidos pelo meio ambiente, como nesta situação em que se calculou o potencial de perda de solo da região. Assim, tratando toda a propriedade como área considerada na análise, determina-se com mais precisão as mudanças que são necessárias para controlar e reduzir esta erosão hídrica.

O atual esquema de PSA do estado considera apenas uma parcela da área da propriedade na mensuração da perda de solo, que nos critérios de CP referem-se a regiões que possuem mata nativa ou em algum estágio de regeneração florestal (capoeira ou macega). Porém com uma visão de que todas as áreas, mesmo que de forma relativa, contribuem efetivamente com a perda de solo, este trabalho seguiu o modelo do PSA utilizado pelo Produtor de Água da

ANA que baseia-se no abatimento da erosão em função de modificações no uso e manejo do solo. Propõe-se então a consideração de toda a área das propriedades na análise de quantificação da perda de solo.

Esta ideia também está relacionada à questão de que hoje o projeto Produtores de Água atua como fomentador do cumprimento da legislação, pois atua somente sobre a área de APP. Com esta alteração passa-se a ver este instrumento como uma ferramenta promotora de formas de desenvolvimento mais sustentável nas propriedades agrícolas.

5.4.2 A Proposição de Cenários Alternativos de Uso do Solo como Critério para Redução do Potencial de Perda de Solo

A proposição dos cenários alternativos teve por base a adoção de mudanças no uso e nas práticas conservacionistas aplicadas no solo de modo a promover uma redução na perda de solo média final gerada pela propriedade. A tabela 5.22, a seguir, apresenta o percentual de redução na perda de solo com a mudança entre os cenários considerados e também a área de intervenção na propriedade.

Tabela 5.22: Percentual de redução da perda de solo com a adoção de cenários alternativos de uso e manejo do solo

Propriedades	Área de intervenção	Percentual da área da propriedade (%)	Percentual de Perda de Solo reduzido com a adoção do cenário alternativo (%)
1	1,93	2,68	20,70
2	0,40	4,39	24,70
3	0,66	2,09	15,25
4	5,59	10,35	12,01
5	15,63	33,85	46,86
6	6,20	30,39	2,21
7	-		-
8	15,72	32,47	20,43
9	6,35	8,73	3,36
10	30,02	38,54	49,47
11	17,19	35,51	60,57
12	21,10	48,49	42,02
13	7,53	32,39	52,70
14	15,77	38,81	4,23
15	23,08	44,95	75,57
16	22,59	39,04	33,17
17	1,03	15,82	93,05
18	2,32	20,86	39,57
19	-		-
20	15,77	34,97	10,88
21	20,94	67,09	39,13
22	24,88	38,66	25,12
23	34,47	63,42	32,12
24	6,70	27,64	54,78
25	1,95	3,75	2,39
26	14,40	27,85	2,55
27	10,03	26,47	3,41
28	50,15	56,69	12,07
29	-		-
30	0,45	1,41	1,05

Nota: As linhas tracejadas marcam a separação das propriedades entre as bacias hidrográficas consideradas, sendo 1-13 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Benevente, 14-22 propriedades da bacia hidrográfica do Rio Guandú e 23-30 propriedades da bacia hidrográfica do Rio São José.

Considerando o percentual de redução na perda de solo total das propriedades pode-se verificar que em geral as medidas adotadas são efetivas, pois em mais de 23 propriedades a redução da erosão hídrica foi superior a 10%, e em 16 superior a 20%. Isso levando-se em consideração que as alterações propostas no uso e manejo do solo ocorreram principalmente sobre as áreas não utilizadas com fins produtivos nas propriedades e sobre estas áreas apenas

foram realizadas mudanças quanto às práticas conservacionistas realizadas no solo, tornando mais impactante o resultado gerado.

Na observação dos coeficientes de CP, obtidos nos referenciais bibliográficos, o que se pode dizer é que as principais alterações ocasionadas propiciaram uma redução de perda de solo da escala de 50% quando se alterava de pastagem para pastagem com terraceamento, 72% na mudança de café novo para café consorciado e 90% na mudança de pastagem para macega.

Algumas situações merecem destaque, pois o impacto que a redução da perda de solo da propriedade foi consideravelmente superior à área de alteração da prática conservacionista. Isso visa mostrar que pequenas alterações, como a realizada na propriedade 17, de substituição do cultivo de café para cultivo de café consorciado, reduz significativamente o potencial de erosão resultante desta atividade.

Outras reduções significativas de erosão nas propriedades puderam ser vistas nas proposições realizadas nas propriedades 1 (substituição de pastagens por macega), 2 (cultivo de bananas com a prática conservacionista do plantio em contorno), 3 (substituição de olerícolas por macega), 11 (substituição de pastagens por macega e de terraço por pastagem), 13 (cultivo de bananas com a prática conservacionista do plantio em contorno e substituição de pastagens por macega), 15 (substituição do cultivo de café para cultivo de café consorciado e a pastagem acrescida da prática conservacionista de terraceamento), 18 (substituição do cultivo de café para cultivo de café consorciado) e 24 (substituição de pastagens por macega).

Outra análise realizada nesta proposição de cenários alternativos foi a comparação da variação ocasionada pela evolução entre estágios de regeneração florestal. Por exemplo, uma área de macega se transformar em capoeira e, posteriormente, em uma área de mata secundária avançada, que apresenta o mesmo coeficiente C que uma área de mata nativa. Desconsiderando a questão acerca do tempo necessário para alteração entre estes estágios de regeneração florestal, pode-se verificar que a ordem de grandeza da mudança dos cenários acima mencionados é cerca de dez vezes menos em cada situação (macega para capoeira e capoeira para mata secundária avançada). O valor reduzido é bastante representativo, porém como estes valores assumem constantes muito pequenas a alteração entre estes cenários é pouco percebida na variação de perda de solo da região.

Para comprovar esta circunstância foi feita uma simulação extra na propriedade 28, onde se alterou o uso da área de macega para capoeira. A área onde foi proposta a mudança tinha um total de 4,76ha, sendo a propriedade com maior área de macega registrada. Na situação atual a perda de solo é de 38,50 ton/ha.ano e com a alteração da área para macega a perda de solo potencial se torna 38,13 ton/ha.ano, uma variação foi de -0,37 ton/ha.ano.

5.5 Proposição de Diretrizes para o Aprimoramento de Iniciativas de PSA, Especialmente o Projeto Produtores de Água

A proposição de diretrizes para o aprimoramento de iniciativas de PSA, em especial para o projeto Produtores de Água, foi realizada através da consideração de todos os levantamentos realizados acerca de mecanismos de PSA, do potencial verificado em outras experiências avaliadas, do banco de dados com informações das propriedades e, principalmente, baseou-se nas análises realizadas sobre os parâmetros da EUPS que constituem os parâmetros técnicos da equação de pagamento da iniciativa estadual. Todos estes levantamentos são apresentados nas seções seguintes:

5.5.1 Proposição de Diretrizes Baseadas na Análise de Outras Aplicações de PSA

Com base nas outras experiências de PSA analisadas pode-se verificar que:

- A iniciativa de pagamento por serviços ambientais realizada na Costa Rica é a base inspiradora da implantação e norteadora do desenvolvimento para a iniciativa estadual. Isso porque os resultados verificados neste país, ao longo dos 40 anos de implantação deste projeto, mostram uma grande incremento da recuperação vegetal, concomitantemente a uma promoção de melhoria na qualidade de vida da população. A concepção do fundo estadual que promove o pagamento pela prestação dos serviços ambientais de recursos hídricos, o FUNDÁGUA, é baseada no FONAFIFO, inclusive em semelhança quanto à fonte dos recursos, royalties da extração de petróleo e gás natural, na iniciativa estadual, e taxas sobre a comercialização de combustíveis fósseis, no caso da Costa Rica. Inspirado também no exemplo da Costa Rica, que estabelece técnicos autônomos para realizarem as atividades de campo para a inserção no projeto, atualmente, discute-se a descentralização

das atividades de pareceres técnicos, necessários para averiguação da situação das propriedades, de serem realizados pelo órgão ambiental, como é o que ocorre no estado do Espírito Santo;

- As iniciativas privadas de pagamento entre fornecedores e beneficiários de serviços ambientais, como é o caso das situações apresentadas na França e em Nova York, são passíveis de serem implementadas no estado do Espírito Santo e estão entre as formas de ampliação consideradas para o projeto Produtores de Água/ES. Entretanto, por conta do custeio que esta prática pode ocasionar ao consumidor final, ela não tem sido analisada com cautela pelo órgão gestor do projeto;
- Outra iniciativa que está sendo visualizada para a prática de PSA no estado do Espírito Santo é a realização do pagamento, em forma de benefícios para a propriedade, como insumos, assim como foi observado no exemplo da França. Esta prática pode beneficiar pequenos proprietários rurais que, sob a forma monetária de pagamento recebem uma quantia pouco significativa, mas em bens e serviços poderiam receber em maior quantidade;
- Comparando-se a metodologia utilizada no projeto do estado do Espírito Santo, com o método aplicado pela ANA, é possível verificar algumas diferenças, apesar da iniciativa estadual ser baseada na prática nacional. Dentre pequenas diferenças pontuais na metodologia, a principal divergência se encontra no foco de aplicação, pois enquanto a iniciativa do estado tem por finalidade uma ação teoricamente reduzida à preservação florestal em matas ciliares, a ANA em seu projeto tem como objetivo a alteração de práticas e manejos conservacionistas da propriedade para formas mais ambientalmente corretas.

5.5.2. Proposição de Diretrizes com Base no Banco de Dados das Propriedades Participantes do Produtores de Água

Da análise do banco de dados que faz a caracterização das propriedades componentes do projeto Produtores de Água, alguns dados relevantes podem ser levantados, como a fonte da renda, a renda média extraída e a condição sanitária das propriedades.

A fonte de renda dos proprietários rurais analisados pela pesquisa, segundo o cadastro, mostra que 87,8% destes retiram parte de sua renda da propriedade inserida no projeto estadual, ou seja, as propriedades são produtivas, não sendo destinadas apenas à preservação ambiental.

Sobre isso pode-se auferir na tabela 5.23 a parcela de sua renda que os proprietários rurais que retiram destas propriedades.

Tabela 5.23: Percentual da renda dos proprietários que é extraída das propriedades cadastradas no Produtores de Água.

Percentual da renda extraída das propriedades					
	Até 25%	25 - 50%	50 - 75%	Acima de 75%	Total
Benevente	36,63%	17,82%	14,85%	30,69%	100,00%
Guandu	14,55%	12,73%	16,36%	56,36%	100,00%
São José	5,56%	11,11%	22,22%	61,11%	100,00%
Total	26,44%	15,52%	16,09%	41,95%	100,00%

Esta tabela permite verificar que enquanto na região do Benevente cerca de um terço dos proprietários retiram apenas pequena parcela de sua renda da propriedade rural inserida no projeto de PSA estadual, o grau de dependência da mesma é inverso nas regiões do Guandu e, principalmente, nas análises da região do São José, onde mais de 83% das propriedades extraem uma parcela superior a metade de sua renda da propriedade. Na análise total, então, o que se pode perceber é que a maioria dos proprietários retira o maior percentual de suas rendas da propriedade analisada (58,04%), mas também é bastante elevado o número de proprietários que tem muito pouca renda vinculada às atividades produtivas da propriedade (26,44%).

Esta observação mostra que apesar de se pensar em proteger e restaurar o meio ambiente, não se pode esquecer da dependência financeira que estes proprietários possuem das propriedades, e assim, ao se pensar em políticas de preservação do meio ambiente deve-se buscar promover meios de utilização sustentável do meio ambiente, de maneira que o proprietário retire renda da propriedade e ao mesmo tempo promova a preservação ou melhoria do meio ambiente. Vale ressaltar, que políticas de PSA tendem a ter seus objetivos mais amplamente cumpridos em propriedades das quais os proprietários dependem, pois o impacto deste reconhecimento será mais bem sentido.

Quanto à mão de obra utilizada nas propriedades o padrão não apresenta alternância significativa, ficando no total uma média de 78,92% das propriedades utilizando mão-de-obra familiar, 12,43% utilizando meeiros, 4,32% das propriedades possuem parceiros, 2,70% empregados e 1,62% outros.

Quanto aos valores pagos pelo PSA, estes apresentaram uma média anual de R\$ 1.439,84 por propriedade. A distribuição possui uma variabilidade muito grande, como pode ser observado na tabela 5.24, o que pode refletir sobre contribuir com mecanismos que distorçam a efetividade, em relação aos objetivos propostos do projeto.

Tabela 5.24: Estatísticas sobre o montante pago anualmente aos produtores inseridos no projeto Produtores de Água

Estatística	Valor
Mínimo	R\$ 50,91
Percentil 25	R\$ 484,27
Mediana	R\$ 949,42
Percentil 75	R\$ 1.942,4
Máximo	R\$ 9.574,86

Algumas considerações sanitárias que interferem na qualidade de vida da população, como a fonte de abastecimento doméstico, a disposição final do lixo e as condições do esgotamento sanitário devem ser consideradas como critérios de seleção em programas que tenham como área de atuação a gestão do meio ambiente. Deste modo, pelo banco de dados, foi possível auferir algumas informações, mostradas nos gráficos 5.15 a 5.18.

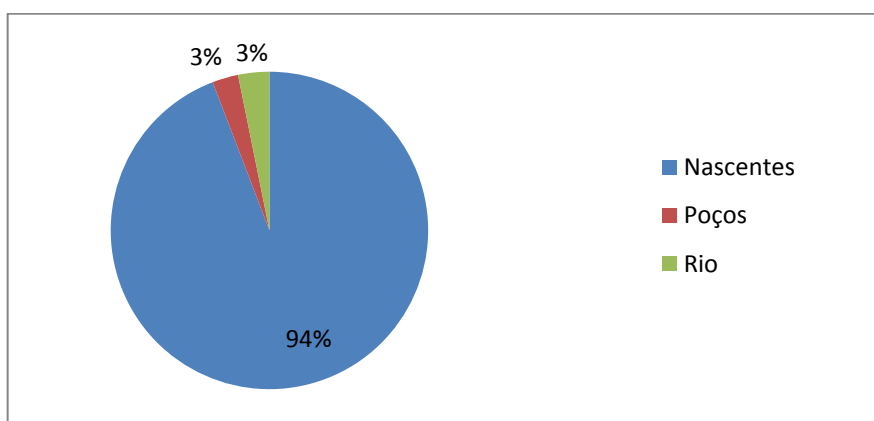


Gráfico 5.15: Formas de abastecimento de água nas propriedades cadastradas no Produtores de Água.

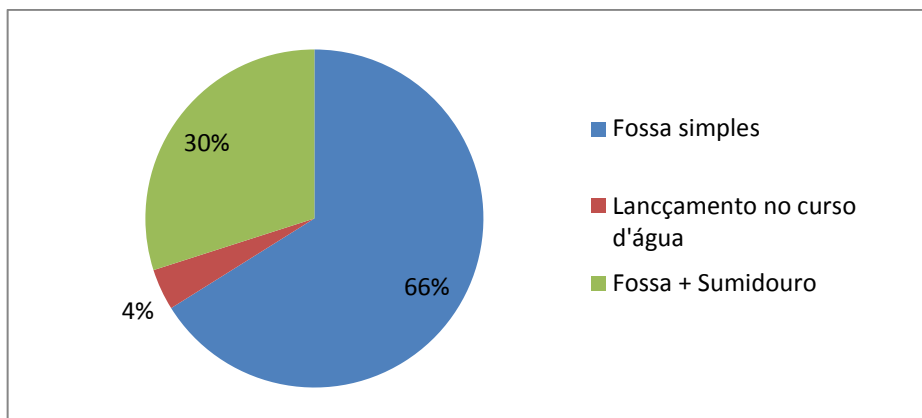


Gráfico 5.16: A situação do esgotamento sanitário nas propriedades participantes do projeto Produtores de Água

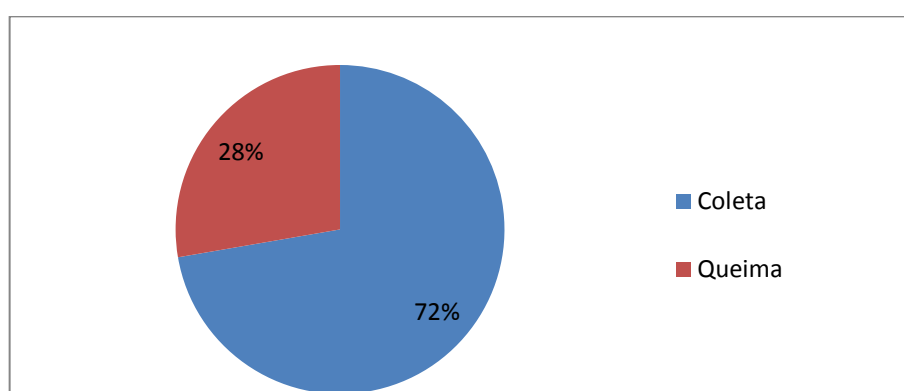


Gráfico 5.17: Disposição final dos resíduos das propriedades participantes do projeto Produtores de Água

De todas estas informações mencionadas nesta seção pode-se propor que programas de PSA, por possuírem como característica o consórcio de benefícios ambientais, já esperados, e benefícios econômicos e sociais, por conta do mecanismo de remuneração, atuem enquanto ferramenta promotora de um desenvolvimento regional mais sustentável e para isso outras questões devem ser consideradas na seleção das propriedades participantes. Alguns exemplos foram aqui levantados, como as condições sanitárias das propriedades, a fonte de renda do proprietário, a área inclusa o mecanismo de PSA e o referente valor recebido.

5.5.3. Proposição de Aperfeiçoamento de Metodologias de PSA com Referência nos Fatores Técnicos que Impactam na Perda de Solo

Das análises realizadas ao longo desta pesquisa com os fatores componentes da EUPS, pode-se sugerir como propostas de aperfeiçoamento de projetos de PSA que considerem a conservação do solo como prática passível de remuneração:

- A influência de técnicas de geoprocessamento na determinação dos fatores da EUPS, principalmente o LS, enquanto ferramenta de otimização da análise de perda de solo foi bastante eficiente;
- As metodologias de LS que utilizam suporte de geoprocessamento possibilitam a discretização mais realística das características do relevo das propriedades. E para mensuração, enquanto coeficiente de remuneração de esquemas de PSA, deve-se considerar a média do parâmetro e o desvio-padrão relativo, devido à elevada variabilidade que este fator tem no interior da propriedade;
- A variação de CP por conta da proposição de mudanças no uso e manejo de solo deve ser elaborada em conjunto com o produtor rural para que este defina onde quer e pode reduzir a sua perda de solo. É relevante também elaborar um coeficiente relacionado a área de matas e estágios de reflorestamento existentes na propriedade, pois a existência destes deve ser evidenciada e é capturada na análise que considera a mudança de uso do solo
- O fator RK, enquanto componente da EUPS, tem a função de relativizar espacialmente o esforço que os proprietários rurais realizam ao tentar conter a perda de solo, pois estes fatores naturais possuem características diferenciadas em cada região. Como coeficiente para projetos de PSA a utilização do valor médio é um bom parâmetro para mensuração, uma vez que sua variabilidade no interior das propriedades é praticamente nula.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do objetivo de propor aperfeiçoamento metodológico do emprego da EUPS na implementação do Produtores de Água, que é um projeto vinculado ao instrumento de Pagamento pro Serviços Ambientais (PSA), as conclusões deste trabalho podem ser divididas em duas partes, sendo a primeira vinculada a determinação e análise dos fatores componentes do cálculo da perda de solo e em sequência, diretrizes propostas para iniciativas de PSA que tenham ação relacionada à conservação do solo.

Sobre os objetivos específicos de avaliação dos fatores componentes da EUPS teve-se que:

- O fator topográfico (LS) seguindo a metodologia proposta, que utiliza técnicas de geoprocessamento e possibilita a livre variação dos parâmetros componentes, mostrou-se, logicamente, mais sensível às variações topográficas do terreno, pois quando comparado à metodologia atualmente utilizada pelo Projeto Produtores de Água verificou-se que suas simplificações nos parâmetros provocaram sobre os mesmos uma tendência de que a declividade (S) seja superestimada e o fator L, utilizado fixo em 100m, não seja capaz de demonstrar todo o impacto que o comprimento da vertente exerce sobre o potencial de perda de solo. O resultado sobre o conjunto do fator topográfico foi que, em geral, esta metodologia (III) subestimou os valores de LS, mas em situações de baixa declividade e baixo valor do fator L, como a que foi verificada na maioria das propriedades pertencentes à bacia hidrográfica do rio São José, ocorreu a situação contrária, onde o fator LS foi superestimado, em relação a metodologia proposta. Deste modo, o que se extrai sobre a sensibilidade de metodologias de determinação do fator LS é que a variabilidade dos parâmetros componentes e a formulação adotada proporcionou impactos expressivos e não proporcionais (com elevada variabilidade) nos resultados oriundos deste fator, e que proporcionalmente gerou os mesmos reflexos sobre o potencial de perda de solo das áreas consideradas na análise.
- A consideração do fator de uso e manejo do solo (CP) como forma de reduzir o potencial de perda de solo das propriedades, através da proposta de alteração do cenário de uso e manejo atual do solo com a adoção de práticas conservacionistas, mostrou-se bastante efetiva para esta finalidade, mesmo sem considerar modificações de uso do solo em áreas cultivadas das propriedades. O impacto sobre a perda de solo nestas áreas com a adoção dos cenários alternativos foi, em média, uma redução de 28,00%. Entretanto, verificou-se nesta mesma análise, que esta forma de mensurar a redução da perda de solo pouco evidencia a mata

preservada e os estágios de regeneração florestal existentes nas propriedades, pois o impacto da preservação/evolução da parcela florestal destas áreas é pouco sensível na variação do fator resultante da perda de solo.

- O fator RK, referente à erodibilidade do solo (K) e erosividade da chuva (R), mostrou-se uma ferramenta relevante enquanto parâmetro componente da análise de perda de solo, pois através da observação da diferença entre os valores de RK obtido nas propriedades e da distância existente entre as mesmas, pode-se verificar que este fator possibilita uma relativização espacial das regiões que apresentem características semelhantes. Esta variação do fator RK nas propriedades ocorre entre bacias hidrográficas distintas e também sob uma mesma bacia hidrográfica, por conta de seu possível distanciamento espacial, mas é próxima a zero no interior das propriedades.

Consolidando estas informações sobre os parâmetros técnicos utilizados em projetos de PSA que evidenciam a conservação do solo para a preservação/melhoria da qualidade da água, em especial o Produtores de Água, evidenciam-se algumas diretrizes:

- A utilização de técnicas de geoprocessamento e que possibilitem maior variabilidade dos parâmetros componentes do fator topográfico (LS) permitem uma mensuração mais realística das características do relevo local, e assim, se determina com mais eficiência os impactos deste fator sobre a perda de solo. Para determinação de um coeficiente que seja inserido em formulações deste tipo de projetos avaliou-se que a medida mais eficiente é considerar conjuntamente os valores de média e desvio-padrão deste fator, devido à grande variabilidade existente no interior da área das propriedades, que só pode ser captada por esta segunda análise.
- Um coeficiente que considere os resultados do fator RK deve ser utilizado em análises que envolvam os coeficientes de perda de solo, para evidenciar o caráter espacial que estes fatores componentes possuem. Nesta pesquisa verificou-se que o fator RK possibilita a relativização espacial das regiões, funcionando como uma medida compensatória ao esforço dos proprietários ao atuarem na redução da perda de solo potencial de sua área, pois mostra onde haverá maior ou menor potencial de perda de solo conforme as características regionais de tipo de solo e índice pluviométrico.
- A relevância de se utilizar o fator CP como indutor de mudanças no tipo de uso e manejo do solo é mais eficaz do que sua utilização apenas para considerar a vegetação existente na propriedade, pois o potencial de perda de solo é maior em áreas mais degradadas e com menor

cobertura vegetal. Assim, com uma visão de que toda área da bacia hidrográfica tem perda de solo relevante, avaliou-se que em iniciativas deste tipo deve-se mensurar o potencial de perda de solo que pode ser evitada pela alteração do tipo de uso e manejo, aliado à proposição de coeficientes que valorizem a mata existente e em estágio de recuperação presente na propriedade.

Como recomendação a estudos futuros nesta área propõe-se que a aplicação destas propostas de aprimoramento de iniciativas de PSA que evidenciem a conservação do solo, levando em consideração critérios de operacionalização e buscando estabelecer a relação entre os fatores técnicos e os coeficientes gerados nas equações de pagamento para uma correta valoração ambiental. Há também a preocupação de se levantar e analisar outros fatores associados às características de projetos de PSA, como condicionantes da qualidade de vida regional, para que esta iniciativa se enquadre como um instrumento de gestão das águas que promova também, através da remuneração fornecida aos proprietários rurais, um desenvolvimento regional sustentável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, A. M. e ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo planta: ferramenta para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

BERTONI, D.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Editora Ícone, São Paulo, 1990.

BRACER, C.; WAAGE, S.; INBAR, M. **Getting Started: An Introductory Primer to Assessing & Developing Payments for Ecosystem Service Deals**. Washington, DC: Katoomba Group, 2007. Disponível em: <http://www.katoombagroup.org>. Acesso em: 10 dez. 2011.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 09 jan. 1997. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. 1994.

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A.F; DOS SANTOS, D.G. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Águas” (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9 (3), p. 5-14. 2004.

CHAVES, H. M. L. Relações de Aporte de Sedimento e Implicação de sua Utilização no Pagamento por Serviço Ambiental em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n.4, p. 1469-1477. 2010.

COSTA, F. H. S.; SOUZA FILHO, C. R.; RISSO, A. Modelagem espaço-temporal da erosão e potencial contaminação de Arsênio e Chumbo na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguaçu (SP). **Revista Brasileira de Geociências**. v. 39, p. 338-349. 2009.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.

DALY, G.C. (Ed.) **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, DC: **Island Press**, 392 p.1997.

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

ESPÍRITO SANTO (Estado). **Lei nº 5.818, de 29 de dezembro de 1998**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento e Monitoramento dos Recursos Hídricos, do Estado do Espírito Santo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 30 dez. 1998.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento do reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, 2006.

FARINASSO M., CARVALHO JÚNIOR, O. A. DE, GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., RAMOS, V. M. Avaliação Qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em Grandes Áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos - Utilizando Novas Metodologias em SIG para os Cálculos dos seus Fatores na Região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7 n.2. p. 73-85. 2006.

GOLDENFUM, J. A. **Simulação hidrossedimentológica em pequenas bacias rurais**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 1991.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17 – 50. 2005

IEMA. **Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. <<http://www.iema.es.gov.br/produtoresdeagua>>. Vistitado em: 10 de jul. 2012.

JARDIM, M. H. **Pagamentos por Serviços Ambientais na Gestão de Recursos Hídricos: O Caso do Município de Extrema-MG**. Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília, 195 p., 2010.

JONHSON, N.; WHITE, A., PERROT-MAITRE, D. **Developing Markets for Water Services from Forest**. Washington, DC: Forest Trends/WRI/Katoomba Group, 2001.

LANDELL-MILLS, N.; PORRAS, I.T. **Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impacts on the poor**. London: International Institute for Environment and Development - IIED, 2002. 249 p.

LEPRUN, J. C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo do Nordeste brasileiro: balanço diagnóstico e novas linhas de pesquisa**. Recife: SUDENE-DRN, 105p, 1981.

LUPPI, S. de M. **Análise de sensibilidade da estimativa de perda de solos em função dos métodos de determinação dos parâmetros K, LS e L componentes da EUPS**. 2002. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

MITSOVA, H. **Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial**. Disponível em:

<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/default.htm>.

Visitado em: julho, 2012.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. PNUMA, Washington, D.C.: Island Press, 2005. Disponível em <<http://www.millenniumassessment.org>>. Acesso em: 20 de nov. de 2010

MONTEIRO, R. **Entrevista realizada com o diretor de Recursos Hídricos do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Realizada no dia 13 de dez. de 2010.

PAGIOLA, S., BISHOP, J., & LANDER-MILLS, N. **Mercados para Serviços Ecosistêmicos: instrumentos econômicos para conservação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: REBRAF, 2005.

PIRH DOCE - **Plano Integrado De Recursos Hídricos Da Bacia Do Rio Doce**. 2010. Disponível em: <<http://www.pirhdoce.com.br/>>. Acessado em: março, 2011.

POLONI, D. M. **Desenvolvimento e Aplicação de Procedimentos Metodológicos em Suporte ao Planejamento Participativo para Redução de Perda de Solos em Pequenas Bacias Hidrográficas com Emprego da EUPS**. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

PRUSKI, F. F. **Conservação do Solo e Água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2 Ed. Viçosa: UFV, 279 p. 2009.

RODRIGUEZ, J. L. G.; SUÁREZ, M. C. G. Historical Review of Topographical Factor LS, of Water Erosion Models. **Aqua-LAC UNESCO – Journal of the International Hydrological Programme for Latin America and Caribbean**. v. 2, n.2 p. 56-61. 2010.

SILVA, A. M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**. v.57 p. 251–259. 2004.

SILVA, T.B.; SANTOS, R.M. dos; AHNERT, F.; MACHADO JÚNIOR, J.A. Projeto Produtores de Água: uma nova estratégia de gestão dos recursos hídricos através do mecanismo de pagamento por prestação de serviços ambientais. **OLAM – Ciência e Tecnologia**. Rio Claro - SP, ano 8, vol. 8, n.3. 2008.

SILVA, A. M. S.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2007. 2º ed.

STANTON, T.; ECHAVARRIA, M. HAMILTON, K.; OTT, C. **State of Watershed Payments: an emerging marketplace**. Ecosystem Marketplace. Florest Trends. 2010.

VIEIRA, S.R. & LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial de potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas, v. 54. n 2. p. 405-412. 1995.

VEIGA NETO, F. C. da. **A Construção de Mercados de Serviços Ambientais e suas Implicações para o Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2008. 298 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade – Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008.

WISCHMEIER, W. H., and SMITH, D. D., **Predicting Rainfall Erosion losses – A guide to Conservation Planning**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook n. 537, 1978.

WUNDER S. Payments for Environmental Services: some nuts and bolts. **CIFOR**, Occasional Paper n° 42, 2006.

ZOLIN, C. A. **Análise e Otimização de Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) Utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG): o caso do município de Extrema, MG**. 2010. 128 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.

ANEXOS

Anexo 1

Carta de apresentação fornecida pelo IEMA para mostrar aos proprietários das áreas visitadas como forma de mostrar a confiabilidade da pesquisa.



GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO
Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Cariacica, 15 de Dezembro de 2011

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Aos Interessados (as),

Prezados (as),

Venho por meio desta apresentar a estudante de pós graduação da Universidade Federal do Espírito Santo Anna Paula L. Ribeiro que ao longo dos últimos meses vem discutindo em sua dissertação de mestrado assuntos afins com o Projeto ProdutorES de Água.

Ressalto sua idoneidade e seu comprometimento com a causa ambiental, características estas que permitem a equipe do Projeto ProdutorES de Água declarar sua alta estima por esta profissional.

Sem Mais,

Atenciosamente

Assinatura manuscrita em azul de José de Aquino Machado Júnior.

José de Aquino Machado Júnior
Coordenador Projeto ProdutorES de Água

Anexo 2

Exemplo de mapeamento da propriedade realizado junto aos proprietários rurais.

A imagem mostrada abaixo retrata o mapeamento realizado na propriedade da identificada posteriormente como de n. 24, localizada na bacia hidrográfica do Rio São José.

