

VAGNER MAURI QUINTO

**PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E ÍNDICE DE RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS NA BACIA HIDROGRÁFICA SOB A INFLUÊNCIA DA PEQUENA
CENTRAL HIDRELÉTRICA DE SÃO SIMÃO, ALEGRE, ES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Q7p
2018

Quinto, Vagner Mauri, 1987-

Pagamento por serviços ambientais e índice de recuperação de áreas na bacia hidrográfica sob a influência da pequena central hidrelétrica de São Simão, Alegre, ES / Vagner Mauri Quinto. – Viçosa, MG, 2018.

xiv, 87 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Elias Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 82-87.

1. Ecologia vegetal. 2. Engenharia geotécnica. 3. Erosão. 4. Solo - Uso. 5. Bacias hidrográficas. 6. Solos - Degradação. 7. Cobertura dos solos. 8. Bacias hidrográficas - Recuperação. 9. Recuperação ecológica. 10. Desmatamento. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.918

VAGNER MAURI QUINTO

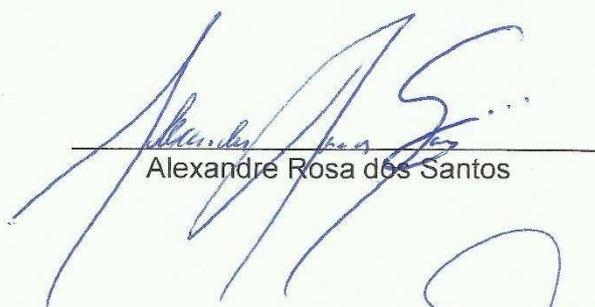
**PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E ÍNDICE DE RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS NA BACIA HIDROGRÁFICA SOB A INFLUÊNCIA DA PEQUENA
CENTRAL HIDRELÉTRICA DE SÃO SIMÃO, ALEGRE, ES**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

APROVADA: 26 de janeiro de 2018.


Julião Soares de Souza Lima


Samuel de Assis Silva


Alexandre Rosa dos Santos


José Marinaldo Gleriani


Elias Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus e a meus pais pelo dom da vida.

Obrigado ao senhor meu pai Valmir Araújo Quinto e a senhora minha mãe Maria de Fátima Mauri Quinto, pelos ensinamentos, pelo amor e por sempre me motivarem a estudar, mesmo não tendo essa oportunidade em suas vidas, me proporcionaram o melhor que podiam independente das dificuldades.

Agradeço também à minha esposa Larissa Honorio de Macedo Thuler Quinto e ao meu filho Bernardo Thuler Quinto, por me motivarem a vencer mais esta etapa em nossas vidas e por compreenderem os afastamentos e as ausências de momentos em família.

Agradeço ao meu irmão, Frederico Mauri Quinto pelo apoio motivacional que me concedeu.

Não poderia deixar de agradecer à Universidade Federal de Viçosa e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal vinculado ao Departamento de Engenharia Florestal pela oportunidade de realizar o meu curso de doutorado. Obrigado a todos os professores que me ajudaram direta ou indiretamente nesta caminhada. Agradeço também ao meu orientador, professor Dr. Elias Silva pelo acolhimento, pelos ensinamentos técnicos e conselhos de vida a mim concedidos durante esses anos de trabalho que tivemos juntos.

Também agradeço ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo pela liberação para que eu pudesse realizar o curso.

Agradeço também a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo durante parte do meu curso.

E por fim, mas não menos importante agradeço aos professores e amigos Dr. Alexandre Rosa dos Santos e Julião Soares de Souza Lima pelos conselhos e ensinamentos durante a minha vida acadêmica de pós-graduação.

Estamos sempre preocupados com o que vai acontecer, porque estamos quase sempre errados sobre o futuro.

Alex Trotman

BIOGRAFIA

VAGNER MAURI QUINTO, filho de Maria de Fátima Mauri Quinto e Valmir Araújo Quinto, nasceu em Alegre, Sul do Estado do Espírito Santo, em 14 de outubro de 1987.

Durante toda a sua vida estudantil frequentou escolas públicas.

Formou-se como Técnico em Agropecuária pela EAFA (Escola Agrotécnica Federal de Alegre – ES) em dezembro de 2005.

Em março de 2006, iniciou seu curso de graduação em Agronomia pelo CCA-UFES (Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo), onde obteve seu título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2011.

No mês de março de 2011, iniciou seu curso de pós-graduação, mestrado strictu sensu em Ciências Florestais pelo CCA-UFES, obtendo seu título de Mestre em Ciências Florestais em fevereiro de 2013.

No mês de agosto de 2013, iniciou seu curso de pós-graduação, doutorado strictu sensu em Ciência Florestal pela UFV (Universidade Federal de Viçosa), submetendo-se à defesa em janeiro de 2018.

Em 17 de maio de 2014 casou-se com Larissa Honorio de Macedo Thuler Quinto e em 05 de junho de 2015 se tornou pai de Bernardo Thuler Quinto.

No dia 27 de junho de 2014 se tornou servidor público atuando como Técnico em Agropecuária do CCA UFES.

Atualmente é Técnico em Agropecuária da Gerência de Áreas Experimentais do CCAE-UFES (Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP).....	4
2.2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS (EUPS).....	5
2.3. PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA).....	7
2.4. PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (MÉTODO AHP).....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	11
3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
3.2.1. Aquisição da base de dados.....	14
3.2.2. Delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo	14
3.2.3. Delimitação das áreas de preservação permanente de acordo com a Lei 12.651/2012 (Novo Código Florestal).....	17
3.2.4. Identificação de conflitos no uso e ocupação das áreas de preservação permanente.....	25
3.2.5. Determinação e espacialização dos fatores da EUPS	25
3.2.6. Quantificação da perda de solos dentro das áreas de preservação permanente	37
3.2.7. Desenvolvimento do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas (INRAD)	39
3.2.8. Modelo de pagamento por serviço ambiental	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA	48
4.2. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	52
4.3. CONFLITO NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	55
4.4. PERDAS DE SOLO	57
4.5. PERDA DE SOLO DENTRO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	73
4.6. ÍNDICE DE NECESSIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DESMATADA OU DEGRADADA.....	76

4.7. PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS	78
5. CONCLUSÕES	81
6. REFERÊNCIAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da área de estudo, bacia hidrográfica da PCH São Simão ao Norte do município de Alegres.....	11
Figura 2 -	Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente da área de estudo.....	12
Figura 3 -	Mapa de declividade da área de estudo.....	13
Figura 4 -	Fluxograma metodológico da geração do MDEHC e delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo.....	16
Figura 5 -	Fluxograma metodológico da delimitação das áreas de preservação permanente de nascentes, cursos d'água e declividade.....	18
Figura 6 -	Fluxograma metodológico da delimitação das áreas de preservação permanente de topos de morro.....	22
Figura 7 -	Fluxograma metodológico da delimitação das áreas de preservação permanente totais sem sobreposição.....	24
Figura 8 -	Análise física de solo.....	30
Figura 9 -	Fluxograma metodológico da determinação da perda de solo da área de estudo nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015.....	36
Figura 10 -	Fluxograma metodológico da identificação da perda de solo dentro das áreas de preservação permanente nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015.....	38
Figura 11 -	Fluxograma metodológico do desenvolvimento do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas.....	45
Figura 12 -	Fluxograma metodológico da simulação de áreas a serem remuneradas.....	47
Figura 13 -	Mapa temático de uso e cobertura da terra no período de 2007/2008.....	49

Figura 14 -	Mapa temático de uso e cobertura da terra no período de 2012/2015	53
Figura 15 -	Mapa temático das áreas de preservação permanente dentro dos limites da bacia hidrográfica da PCH São Simão conforme a Lei 12.651/12.....	56
Figura 16 –	Mapa temático de uso e cobertura da terra durante o período 2007/2008 (a) e 2012/2015 (b) dentro das classes de APP.....	58
Figura 17 -	Mapa temático da erosividade anual para o estado do Espírito Santo (a) e da bacia hidrográfica da PCH São Simão (b).....	60
Figura 18 -	Mapa temático da erosividade anual reclassificada.....	61
Figura 19 -	Mapa temático das classes de solo e sua erodibilidade..	
Figura 20 –	Mapa temático do fator topográfico (a) e fator topográfico reclassificado (b).....	63
Figura 21 -	Mapa temático do potencial natural de erosão (a) e potencial natural de erosão reclassificado (b).....	64
Figura 22 -	Mapa temático da perda de solo para a bacia hidrográfica da PCH no período 2007/2008 (a) e 2012/2015 (b).....	65
Figura 23 -	Mapa temático da perda de solo reclassificada para a bacia no período pré (a) e pós (b) implantação da PCH.....	67
Figura 24 -	Mapa temático da perda de solo dentro da bacia pós-implantação da PCH para as classes de solo exposto (a), pastagem (b), mata nativa em estágio inicial de regeneração (c) e mata nativa (d).....	69
Figura 25 -	Mapa temático da perda de solo reclassificada dentro da bacia pós-implantação da PCH para as classes de solo exposto (a), pastagem (b), mata nativa em estágio inicial de regeneração (c) e mata nativa (d).....	72

Figura 26 -	Mapa temático da perda de solo reclassificada dentro das áreas de preservação permanente pós-implantação da PCH.....	73
Figura 27 -	Mapa temático da perda de solo pós-implantação da PCH dentro das classes de nascentes (a), cursos d'água (b), declividade (c) e topo de morro (d).....	75
Figura 28 -	Mapa temático do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas na bacia da PCH São Simão.....	77
Figura 29 -	Mapa temático das propriedades contempladas pela simulação do ressarcimento por hectare preservado ou a ser preservado.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Escala de importância e sua descrição.....	10
Tabela 2 -	Análise descritiva da precipitação pluviométrica mensal para o período de 1986 a 2015, no estado do ES.....	27
Tabela 3 -	Classes de interpretação para o índice de erosividade anual das chuvas.....	28
Tabela 4 -	Valores de erodibilidade utilizados para os solos da área de estudo.....	29
Tabela 5 -	Classes de interpretação do potencial natural de erosão	33
Tabela 6 -	Valor do fator de cobertura e manejo do solo.....	34
Tabela 7 -	Valor do fator práticas conservacionistas.....	34
Tabela 8 -	Classes de interpretação da perda de solo.....	35
Tabela 9 -	Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.....	40
Tabela 10 -	Classes de interpretação da perda de solo para o INRAD.....	42
Tabela 11 -	Classes de interpretação da direção de fluxo acumulado para o INRAD na bacia hidrográfica da PCH São Simão.....	43
Tabela 12 -	Classes de interpretação do MDEHC para o INRAD na bacia hidrográfica da PCH São Simão.....	44
Tabela 13 -	Classes de interpretação do fator de correção do INRAD.....	44
Tabela 14 -	Classes de interpretação do INRAD.....	44
Tabela 15 -	Classes de uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica da PCH São Simão.....	51
Tabela 16 -	Evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica da PCH São Simão.....	52
Tabela 17 -	Quantificação das áreas de preservação permanente....	54
Tabela 18 -	Classes de uso e cobertura da terra das áreas de preservação permanente.....	55
Tabela 19 -	Identificação das classes de erosividade anual.....	59
Tabela 20 -	Identificação das classes do fator topográfico.....	62

Tabela 21 -	Identificação das classes do potencial natural de erosão.....	65
Tabela 22 -	Identificação das classes de perda de solo.....	66
Tabela 23 -	Identificação das classes de perda de solo reclassificada.....	71
Tabela 24 -	Identificação das classes de perda de solo reclassificada nas áreas de preservação permanente....	74
Tabela 25 -	Identificação das classes do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas na bacia hidrográfica da PCH São Simão.....	76
Tabela 26 -	Simulação de valores de ressarcimento por hectare preservado ou a ser recuperado.....	79

RESUMO

QUINTO, Vagner Mauri, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2018. **Pagamento por serviços ambientais e índice de recuperação de áreas na bacia hidrográfica sob a influência da pequena central hidrelétrica de São Simão, Alegre, ES.** Orientador: Elias Silva.

A produção agropecuária baseada no sistema de cultivo convencional possibilita uma maior ocorrência dos processos erosivos. A erosão hídrica é um problema que ocorre em todo o território nacional e ocasiona a desagregação das partículas do solo e o carreamento dessas e seus nutrientes para os cursos d'água. Avaliou-se neste trabalho o uso e cobertura da terra, a erosividade anual da chuva e a perda de solo na bacia hidrográfica da pequena central hidrelétrica São Simão e desenvolveu um método de identificação das áreas que necessitam ser recuperadas e de pagamento por serviços ambientais. Os valores de perda de solo foram obtidos em conformidade com a equação universal de perda de solos e as áreas de preservação permanente foram identificadas com base no novo código florestal. O índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas e o modelo de ressarcimento por hectare preservado ou a ser recuperado foram obtidos com o uso do processo de análise hierárquica. A bacia em estudo apresenta aproximadamente 70% da sua área ocupada com pastagem e 13,86% com mata nativa e mata nativa em estágio inicial de regeneração. Identificou-se a necessidade de que 927,52 ha ou 26,36% da bacia fossem mantidos como áreas de preservação permanente, com destaque para classe de cursos d'água com 740,31 ha, contudo, apenas 11,80% dessas áreas encontram-se reflorestadas. Os valores de erosividade média anual das chuvas foram identificados como médio a forte e forte tanto para o estado do Espírito Santo quanto para a bacia em estudo. Houve aumento no valor máximo da perda de solo após a implantação da pequena central hidrelétrica São Simão, tendo a classe de solo exposto apresentado a maior perda com valor máximo de $1.302,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a classe de mata nativa a menor perda com valor máximo de $1,80 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas indicou que 809,31 ha necessitam ser recuperados. A bacia hidrográfica quase não apresentou alteração no uso e cobertura da terra nos períodos antes e após a implantação da pequena central hidrelétrica. O índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas apresentou

resultado satisfatório, não subestimando e nem superestimando as áreas a serem recuperadas. O programa de pagamento por serviços ambientais é pouco atrativo para as condições desenvolvidas.

ABSTRACT

QUINTO, Vagner Mauri, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2018. **Payment for environmental services and recovery index of areas in the hydrographic basin under the influence of the small São Simão hydroelectric power station, Alegre, ES.** Advisor: Elias Silva.

The farming production based on the conventional system allows a greater occurrence of erosive processes. Water erosion is a problem that occurs throughout the national territory and causes the separation of soil particles and the transport of these and their nutrients to the waterways. Was evaluated in this work the use and land cover, the annual erosivity of rainfall and the loss of soil in the hydrographic basin of the small hydroelectric power station São Simão, and developed a method of identifying the areas that need to be recovered and payment for environmental services. The soil loss values were obtained in accordance with the universal soil loss equation and the permanent preservation areas were identified based on the new forest code. The index of need for recovery of deforested or degraded areas and the model of reimbursement per hectare preserved or to be recovered were obtained using the hierarchical analysis process. The basin under study presents approximately 70% of its pasture area and 13.86% with native forest and native forest in the initial stage of regeneration. It was identified the need for 927.52 ha or 26.36% of the basin to be maintained as permanent preservation areas, with featured in the class of watercourses with 740.31 ha, however, only 11.80% of these areas are reforested. The mean annual rainfall erosivity values were identified as medium to strong and strong both for the state of Espírito Santo and for the basin under study. There was an increase in the maximum value of soil loss after the implantation of the São Simão small central hydropower, with the exposed soil class presenting the highest loss with a maximum value of 1,302.22 t ha⁻¹ year⁻¹ and the native forest lower loss with a maximum value of 1.80 t ha⁻¹ year⁻¹. The need for recovery of deforested or degraded areas indicated that 809.31 ha need to be recovered. The hydrographic basin had almost no change in land use and coverage in the periods before and after the implementation of the small central hydropower. The index the need for recovery of deforested or degraded areas presented satisfactory results, not underestimating or overestimating the areas to be recovered. The program of payment for environmental services is unattractive to the conditions developed.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A produção agropecuária baseada nos sistemas convencionais é grande causadora de impactos ambientais, tais como a degradação dos solos, a poluição e o assoreamento dos rios e o desmatamento (ATTANASIO, 2004).

A erosão hídrica é um problema que ocorre em todo o território nacional, contudo, regiões de maior declividade como no estado do Espírito Santo estão sujeitas a processos erosivos de maior intensidade. Um agravante para esse fator é o cultivo agrícola com o uso inadequado das técnicas de manejo e conservação dos solos e da água.

Estima-se que 0,3% da produção mundial de alimentos é perdida devido aos processos erosivos dos solos, e essa taxa poderá chegar a 10% até 2050 se forem mantidas as atuais formas de cultivo. Calcula-se um gasto mundial de US\$ 150 bilhões anual para reposição da fertilidade dos solos perdida pelos processos erosivos (FAO, 2015).

A perda de solos por erosão no Brasil foi estimada em 600 milhões de toneladas por ano com um custo de US\$ 1,5 bilhão para reposição da fertilidade do solo erodida (BAHIA et al., 1992). Conforme Hernani et al. (2002), esses valores eram de 820 milhões de toneladas de solo por ano e US\$ 2,64 bilhões para reposição dos nutrientes perdidos.

Segundo Dechen et al. (2015) o custo para reposição da fertilidade dos solos perdidos por erosão no Brasil em solos com taxas de 0, 20, 40 e 90% de cobertura é de US\$ 107,76, US\$ 71,67, US\$35,38 e US\$18,15 por ha⁻¹ ano⁻¹. Segundo estes autores, esses valores podem chegar a US\$ 1,3 bilhão por ano para reposição da fertilidade em áreas cultivadas com lavouras anuais no Brasil.

Existem diferentes maneiras de se estimar a perda de solo e comumente se utiliza a EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo). A estimativa da perda de solo em uma área é dependente de fatores de causas naturais como a erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos e a declividade da área bem como de fatores de interferências antrópicas como a cultura implantada e as práticas conservacionistas empregadas na área. A associação desses fatores possibilita a

identificação da variabilidade de perda de solo existente dentro de uma mesma área e a necessidade de manejo específico.

As PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas) ocasionam menos danos ao meio ambiente do que as usinas hidrelétricas, contudo também são geradoras de impactos negativos. Portanto, o local para sua construção deve ser amplamente estudado antes e após a sua implantação para se reduzir os danos. Para Bufon, Landim e Melo (2009) o tempo de vida útil de pequenos reservatórios varia em função do seu manejo e das atividades antrópicas no seu entorno. Esses autores identificaram um período médio de 50 anos como sendo o tempo de vida útil de uma pequena barragem, contudo esse tempo varia dentro dos anos de estudo em função da alteração do uso e cobertura da terra no seu entorno.

A correta delimitação da bacia, sub-bacia ou microbacia hidrográfica é importante, pois, evita a sub ou a superestimação do fator ou dos fatores em análise, por isso, deve ser um dos primeiros passos a serem realizados na área de estudo. No entanto, esse procedimento é trabalhoso e tem sido automatizado por meio do uso do SIG (Sistemas de Informações Geográficas) com o auxílio de modelos matemáticos.

A APP (Área de Preservação Permanente) é de suma importância para a sustentabilidade da bacia hidrográfica, pois a presença das áreas com cobertura vegetal preservadas ocasiona a redução da velocidade do impacto das gotas de chuva com o solo, proporciona o aumento da infiltração de água no solo, reduz a velocidade de escoamento da água, serve de barreira física para as partículas de solo erodidas e, conseqüentemente, reduz o assoreamento, eutrofização e contaminação dos cursos d'águas.

A recuperação de áreas degradadas é um processo demorado e de alto custo, por isso, é necessário o desenvolvimento de estudos sobre a perda de solo para que se consiga reduzir ao máximo possível os danos. O SIG é uma ferramenta importante nesse tipo de estudo, pois auxilia na identificação de áreas de manejo específico.

O PSA (Pagamento por Serviços Ambientais) pode ser uma importante ferramenta no auxílio ao controle dos processos erosivos, pois consiste no ressarcimento financeiro para proprietários de áreas preservadas conforme a

legislação. No entanto, a busca por parcerias com empresas privadas pode ser benéfica para a implantação de novos programas de PSA.

Desta forma, estudos dessa natureza se tornam importantes para que se possam identificar áreas com necessidade de intervenção antrópica no intuito de se reduzir ou evitar a erosão hídrica e o assoreamento de cursos d'águas e de PCH's.

A hipótese deste trabalho é que houve aumento na perda de solos na bacia hidrográfica após a implantação da pequena central hidrelétrica de São Simão, necessitando a implantação de programas de pagamentos por serviços ambientais.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho quantificar a perda de solo no entorno da PCH São Simão e desenvolver uma ferramenta de auxílio para pagamento por serviços ambientais.

Os objetivos específicos foram:

- Estimar a erosividade média anual e confeccionar o mapa isoerosivo para o entorno da PCH São Simão e o estado do Espírito Santo;
- Identificar o uso e cobertura da terra no entorno da PCH São Simão antes e após a sua implantação;
- Desenvolver um índice para identificar as áreas que necessitam ser recuperadas;
- Desenvolver um índice para pagamentos por serviços ambientais das áreas que necessitam ser recuperadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

A APP é de suma importância na preservação de todo o ecossistema, pois visam garantir a manutenção da fauna, flora, do solo e da água, pois encontram-se localizadas em pontos específicos da paisagem e do relevo.

De acordo com artigo 3º, inciso II da Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012) as APP são definidas como:

área protegida, coberta ou não por vegetação nativa com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

Conforme o artigo 4º da Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012) as seguintes áreas em zonas rurais e urbanas devem ser consideradas como APP:

I – faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros.

II – áreas no entorno de lagos e lagoas naturais.

III – áreas no entorno de reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais.

IV – áreas no entorno das nascentes e olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação geográfica.

V – encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% na linha de maior declive.

VI – topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100m e inclinação média maior do que 25º.

A supressão da cobertura vegetal ocasiona o início dos processos erosivos. Isto ocorre devido à remoção das árvores que ocasionariam a interceptação das gotas da chuva pelas suas copas e, com isso as gotas atingiriam o solo com menor velocidade ocasionando menos desagregação das suas partículas que posteriormente seriam carregadas pelo escoamento superficial até o curso d'água mais próximo. A ausência dos componentes arbóreos impede o aporte de matéria orgânica que ocasionaria fertilização do solo, maior retenção de água e redução da velocidade de escoamento devido à rugosidade criada sobre o solo.

As áreas marginais dos cursos d'água podem ser vegetadas por diferentes ecossistemas e espécies vegetais e dentre essas, encontram-se as zonas ripárias. Essas áreas são formadas por florestas denominadas de matas ripárias ou ciliares. Este ambiente é formado entre o nível mais baixo e o mais alto de um rio, sendo a vegetação influenciada pela oscilação do lençol freático (NAIMAN e DÉCAMPS, 1997). Portanto, são as áreas úmidas desde a margem do curso d'água no período das secas até o nível máximo desse no período das águas (enchentes).

Ainda segundo Naiman e Décamps (1997) a zona ripária é o principal local de deposição de poluentes e sedimentos transportados pelo escoamento superficial.

As zonas ripárias apresentam efeito tampão por conseguirem reter parte dos nutrientes e herbicidas pelo seu sistema radicular e por realizar a filtragem dos sedimentos (LIMA e ZAKIA, 2000). Estudos como o desenvolvido por Sparovek et al. (2002) indicam que a zona ripária de 52m foi eficiente para a retenção de 54% dos sedimentos.

Desta forma, torna-se evidente a necessidade do monitoramento e implementação de programas de manejo e implantação de reflorestamento em APP's. Tais medidas ajudarão na redução da erosão, no aumento da infiltração de água no solo e no aumento na vazão de nascentes, olhos d'águas e nos cursos hídricos.

2.2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS (EUPS)

As equações para cálculo da perda de solo começaram a ser desenvolvidas por volta do ano de 1940 no cinturão do milho nos Estados Unidos (WISCHMEIER e SMITH, 1965; 1978). No ano de 1940, Zingg publicou uma equação que relacionava a perda de solo com o comprimento e a declividade da área. Em 1941 Smith acrescentou ao modelo fatores de cultivo e práticas de conservação (WISCHMEIER e SMITH, 1965; 1978).

Com o intuito de adequar a equação do cinturão do milho para poder ser utilizada em outras regiões do país, em 1946 o comitê nacional sobre a predição de perda de solo se reuniu em Ohio e avaliou os seus valores e adicionou o fator de precipitação à mesma. Esta equação ficou conhecida como Musgrave, sendo amplamente utilizada para estimativa da erosão bruta em bacias hidrográficas (WISCHMEIER e SMITH, 1965; 1978).

No final dos anos 50 foi apresentada uma equação melhorada pelo Serviço de Pesquisa Agrícola da Universidade de Purdue que retiraram do modelo generalizações, restrições geográficas e climáticas presentes na equação anterior. Devido à sua aplicabilidade geral o modelo ficou conhecido como Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1965; 1978). Traduzindo para o português temos a equação universal de perdas de solo (EUPS).

Em 1965 foi publicada a USLE (Universal Soil Loss Equation) por Wischmeier e Smith e em 1978 estes mesmos publicaram a equação com alteração na forma do cálculo do fator de declividade. Nesse trabalho a perda de solo será estimada com a USLE apresentada em 1965 conforme a equação 1.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (\text{eq. 1})$$

Em que:

A: perda de solo média anual ($\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R: erosividade média anual da chuva ($\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

K: erodibilidade do solo mantido sem cobertura e com tratos culturais em um declive de 9% e comprimento de rampa de 22,13 m ($\text{t ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$);

L: comprimento de rampa expresso pela relação entre a perda de solo em um comprimento de rampa qualquer e um comprimento de rampa de 22,13 m, desde que em mesmo declive (adimensional);

S: grau de declividade expresso pela relação entre a perda de solo em um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo comprimento de rampa (adimensional);

C: fator de cobertura e manejo, expresso pela razão entre a perda de solo de uma área com cobertura e manejo especificado e a de uma área idêntica em pousio contínuo (adimensional);

P: fator práticas conservacionistas, expresso pela razão entre a perda de solo em uma área com uso de práticas e a de uma área cultivada no sentido do declive (adimensional).

A USLE tem sido empregada em vários trabalhos de estimativa da perda de solo devido à sua fácil aplicabilidade em ambiente SIG e devido à confiabilidade nas estimativas obtidas (OLIVEIRA et al., 2011), como os desenvolvidos por Cabral et al.

(2010); Carvalho (2008); Domingos (2006); Quinto (2013); Ruhoff et al. (2006); e Tomazoni et al. (2005).

O resultado da multiplicação dos fatores R (Erosividade da Chuva), K (Erodibilidade do Solo) e LS (Fator Topográfico), que são parâmetros relacionados às características naturais da área de estudo, resultam na construção de um novo parâmetro denominado de PNE (Potencial Natural de Erosão) proposto por Stein et al. (1987). O PNE é um parâmetro que avalia apenas as características naturais da área, sem levar em consideração as práticas agrícolas adotadas pelo agricultor e a espécie cultivada.

2.3. PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA)

O ser humano é dependente dos produtos ou serviços ambientais para sua sobrevivência, portanto, interage com os ecossistemas. Quando a interação é de forma exploratória ocasiona a degradação, o que restringe ou elimina a disponibilidade do produto ambiental para as gerações futuras.

O serviço ambiental pode ser definido como atividade humana que contribui para manutenção ou aumento da provisão de benefícios por meio do ambiente (CHOMITZ, BRENES e CONSTANTINO, 1999). Esta definição acrescenta a intervenção antrópica no ecossistema não apenas no sentido de explorador, mas de produtor de serviços, o que possibilita a sua compensação pela preservação ou recuperação do meio ambiente.

Os serviços ambientais ou ecossistêmicos também podem ser compreendidos como os benefícios que as pessoas obtêm do ecossistema ou dos ecossistemas (PEIXOTO, 2011).

O homem pode intervir no meio ambiente de forma direta com o plantio de árvores, redução no consumo de água, utilização de fontes renováveis de combustível, uso de técnicas de conservação do solo e da água na produção agrícola, entre outras. A intervenção também pode ser de forma indireta que seria por meio do PSA a outras pessoas ou organizações que as realizem.

Muitos são os produtos ambientais demandados no dia a dia do ser humano tais como: a água para beber, realização das suas higiênes, produção e preparo de alimentos; combustível fóssil para os veículos; nutrientes dos solos para produção

de alimentos; árvores para produtos madeireiros e redução dos gases na atmosfera por meio do processo de fotossíntese; entre outros.

Na literatura é comum o uso dos termos compensação e retribuição no lugar de pagamento, contudo esses podem ser entendidos como sinônimos (PEIXOTO, 2011).

A precificação, ou seja, o pagamento por serviços ambientais é um fator complexo de se determinar, pois depende do tipo de uso do ecossistema, podendo ser o uso direto, indireto ou opção futura. Produtos de uso direto são fáceis de serem precificados, pois o próprio mercado controla o seu preço, como os alimentos, madeira, água, entre outros. A complexidade maior encontra-se nos de uso indireto ou futuro, pois nem todos estão dispostos a pagar por um produto que teoricamente não está em suas mãos ou que seus filhos ou netos é que os desfrutarão. Contudo as pessoas estão dispostas a pagar mais caro em uma propriedade rural com maior fluxo de água, sejam açudes, lagoas ou cursos hídricos.

Existem diferentes formas de PSA, sendo o de pagamento direto o tipo mais comum, em que normalmente o Governo remunera produtores que adotam técnicas de conservação e preservação do solo, com o intuito de beneficiar a sociedade em função da resolução de um problema ambiental específico. Entretanto, o setor privado também pode custear os programas de PSA (PEIXOTO, 2011).

Os esquemas de PSA florestais enquadram-se basicamente em 4 classes: a) captura e retenção de carbono; b) biodiversidade; c) proteção hídrica; e d) beleza cênica. Na classe de proteção hídrica pode citar processos de purificação da água, regulação de fluxo e sedimentação que possibilitam uma melhor qualidade e maior quantidade de água (WUNDER, et al., 2009).

Portanto, pode definir o PSA como uma ferramenta que busca solucionar um problema ambiental por meio da precificação similar à de mercado que incentive agentes a tomarem decisões ambientais corretas, podendo ser fomentados por órgãos públicos ou privados.

2.4. PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (MÉTODO AHP)

O método de processamento de análise hierárquica mais conhecido como método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty no

início da década de 70. Segundo Gomes (2015) esse é um dos métodos de análise multicritérios mais conhecido e utilizado, auxiliando a tomada de decisões por meio de comparações de matrizes positivas pareadas, baseando-se em hierarquia, critérios e metas.

Conforme Saaty (1977) o método de hierarquização é importante pois possibilita a determinação de um modelo com capacidade de visualizar a interação dos componentes do sistema, que quando divididos em níveis garantem confiança e flexibilidade nos resultados obtidos.

O método AHP é baseado em uma matriz quadrada $n \times n$, em que as linhas e colunas correspondem aos n critérios analisados para o problema em questão. Desta forma, os valores de a_{ij} representam a importância relativa do critério da linha i em detrimento ao critério da coluna j (ZAMBON, CARNEIRO e NEGRI, 2005).

A confiabilidade do modelo gerado pelo método AHP pode ser comprovada pela RC (razão de consistência) da matriz pareada. Quanto maior o valor de RC, menor será a consistência da matriz, desta forma, objetiva-se a obtenção dos menores valores de RC para que a matriz seja considerada consistente. Assim, matrizes de ordem 2 com RC nulo, de ordem 3 com RC menor do que 0,05, de ordem 4 com RC menor do que 0,09 e de ordem maior que 4 com RC menor do que 0,10 são consideradas consistentes (SAATY, 1977). Ainda segundo este autor, quando o valor de RC é maior do que 0,10 é necessária uma reavaliação do processo em análise, questionando os critérios ou o grau de importância dos mesmos.

O principal diferencial do método AHP é a sua capacidade de converter dados empíricos em valores numéricos que posteriormente podem ser processados e comparados (WOLLMANN et al., 2011).

Com o intuito de padronizar processo de análise, Saaty (1977) criou uma escala de intensidade de importância para os critérios a serem adotados na matriz de comparação conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Escala de importância e sua descrição.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual ou extremamente baixa	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de um sobre o outro	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância essencial ou forte	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra
9	Importância absoluta ou extremamente forte	Uma atividade é extremamente favorecida em relação à outra
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando o compromisso é necessário

Fonte: Saaty (1977), adaptado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica da PCH São Simão localizada entre as coordenadas 20° 36' 15" e 20° 37' 41" de latitude Sul e 41° 28' 19" e 41° 30' 15" de longitude Oeste ao Norte do município de Alegre, Sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1).

A PCH São Simão é um empreendimento do grupo Brasil PCH S.A. localizada no Rio Itapemirim no município de Alegre. A PCH começou a produzir energia em 17 de fevereiro de 2009 com capacidade instalada de 27 MW, possuindo um reservatório com 72 ha e $1,11 \times 10^9 \text{ m}^3$. A barragem possui 111 m de comprimento, 56 m de altura e 77 m de vertedouro (BRASIL PCH, s/d).

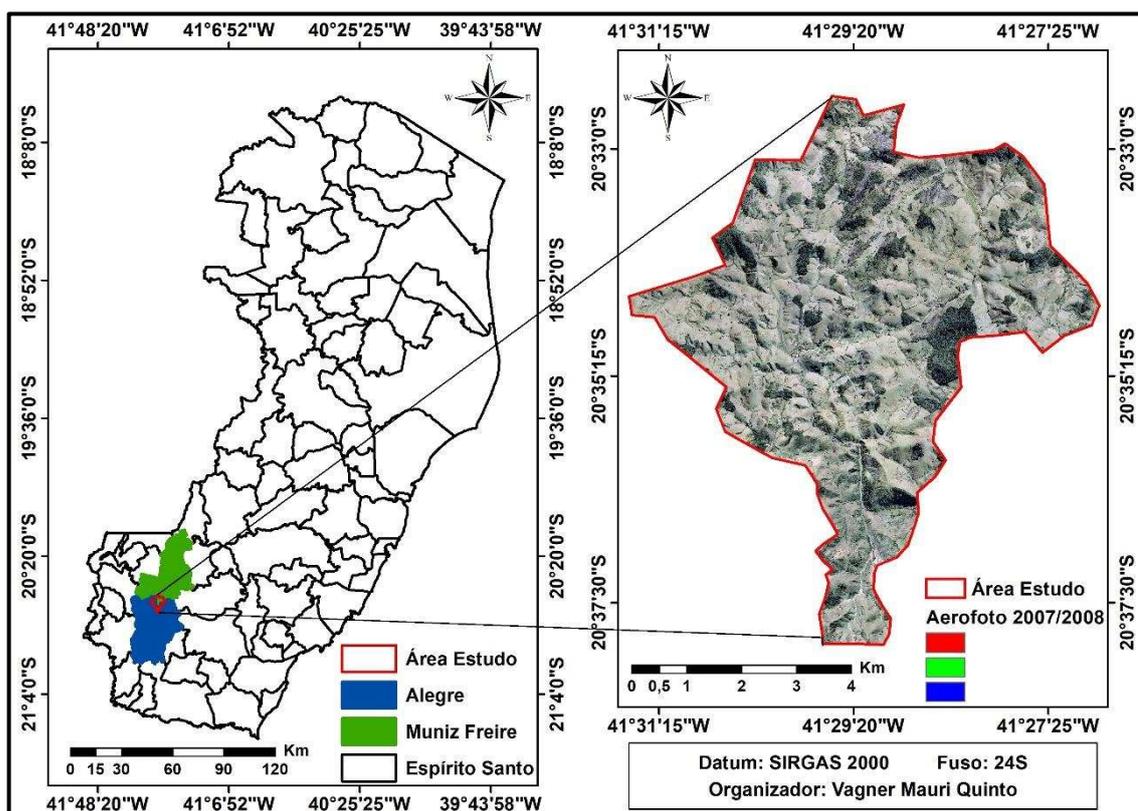


Figura 1: Localização da área de estudo, bacia hidrográfica da PCH São Simão ao Norte do município de Alegre-ES.

A área de estudo apresenta altitude variando entre 234 e 697m (Figura 2).

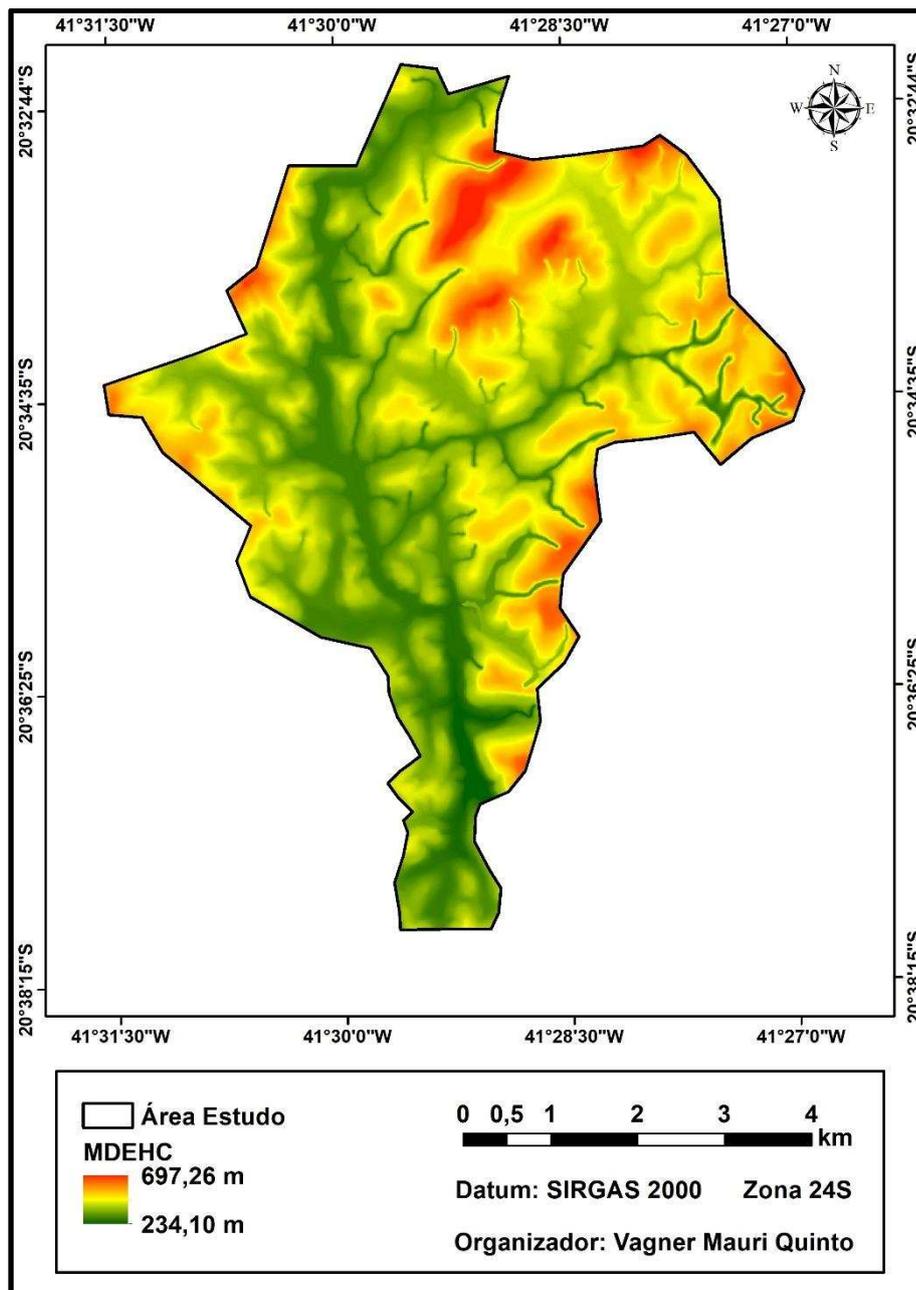


Figura 2: Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente da área de estudo.

A declividade da área de estudo varia de plano a escarpado (Figura 3), conforme classificação da EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

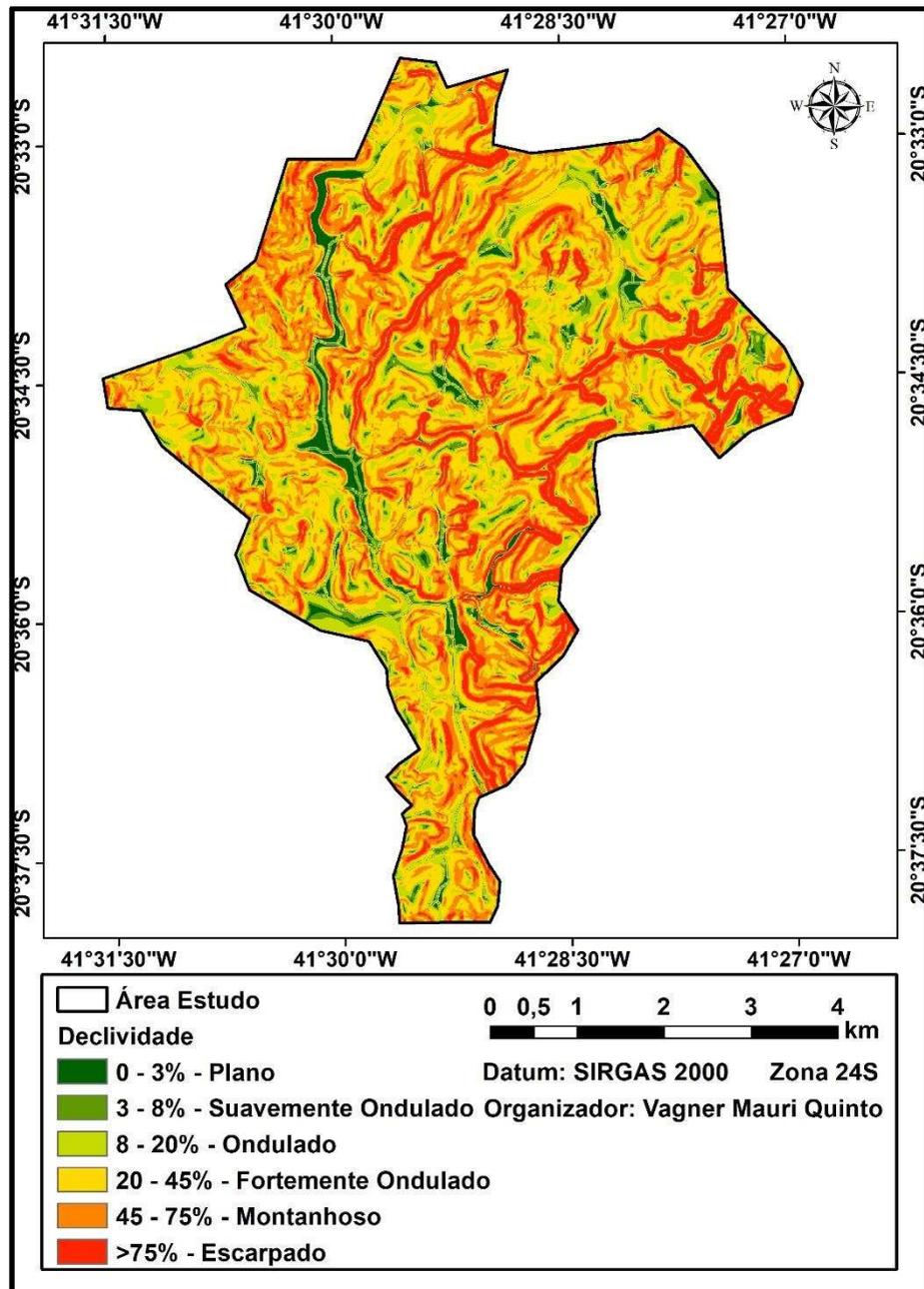


Figura 3: Mapa de declividade da área de estudo.

A área de estudo apresenta predomínio de pastagens, mata nativa, mata nativa em estágio inicial de regeneração natural e campo sujo (Figura 14).

3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O cálculo das perdas de solo e a confecção e edição dos mapas temáticos necessários foram realizados com o auxílio do *software ArcGis 10[®]*. A análise estatística descritiva foi realizada com o uso do *software STATISTICA 13 TRIAL*.

3.2.1. Aquisição da base de dados

A base de dados espaciais como os limites do estado do Espírito Santo, a divisão dos seus municípios, as curvas de nível, a hidrografia e a classificação dos solos foram adquiridas de forma gratuita por meio do GEOBASES (Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do estado do Espírito Santo).

Para a realização da análise temporal obteve-se imagens suborbitais de levantamento aerofotogramétrico. O período antes da implantação da PCH São Simão foi fotointerpretado sobre uma imagem aérea dos anos de 2007/2008 e o período pós-implantação sobre a imagem de 2012/2015. Essas aerofotos foram obtidas de forma gratuita na sede do GEOBASES em Vitória-ES, bem como o mapa temático de uso e cobertura da terra no período de 2007/2008.

Os dados pluviométricos foram obtidos de forma gratuita por meio de download no site da ANA (Agência Nacional de Águas).

3.2.2. Delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo

Para a determinação do MDEHC (modelo digital de elevação hidrologicamente consistente) utilizou-se as curvas de nível equidistantes de 20 m combinadas com a hidrografia, sendo aplicado sobre essas o interpolador *topo to raster* possibilitando a geração do MDE (modelo digital de elevação) em formato *raster* com resolução espacial de 10 m. Posteriormente foram identificadas a direção de escoamento da água ou direção de fluxo e a existência de sumidouros ou buracos no MDE.

Após a constatação da existência dos sumidouros foram corrigidos os erros do processo de interpolação, conseguindo desta forma evitar sumidouros no MDE2.

O arquivo vetorial de hidrografia foi convertido para o formato raster, com resolução espacial de 10 m e limitou-se a largura da hidrografia em 1,5 células.

De posse da hidrografia rasterizada com 1,5 células e do MDE2 utilizou-se a função álgebra de mapas efetuando a multiplicação dos arquivos e obtendo o perfil altimétrico da hidrografia. Posteriormente por meio da álgebra de mapas realizou-se o aprofundamento da hidrografia em 5m gerando o MDE3.

Por fim, sobre o MDE3 corrigiu-se possíveis erros de interpolação e obteve-se o MDEHC. De posse do MDEHC foi identificada a direção de fluxo das células e posteriormente, com o intuito de se observar a concentração do escoamento superficial da água na área de estudo identificou-se a direção de fluxo acumulado.

A delimitação da bacia hidrográfica foi obtida por meio da rasterização do arquivo de direção de fluxo. Posteriormente a este procedimento foi criado o arquivo vetorial contendo os limites da área de estudo com base na bacia hidrográfica delimitada.

Todo o procedimento metodológico desenvolvido para a geração do MDEHC e delimitação da bacia hidrográfica e da área de estudo pode ser observado na Figura 4.

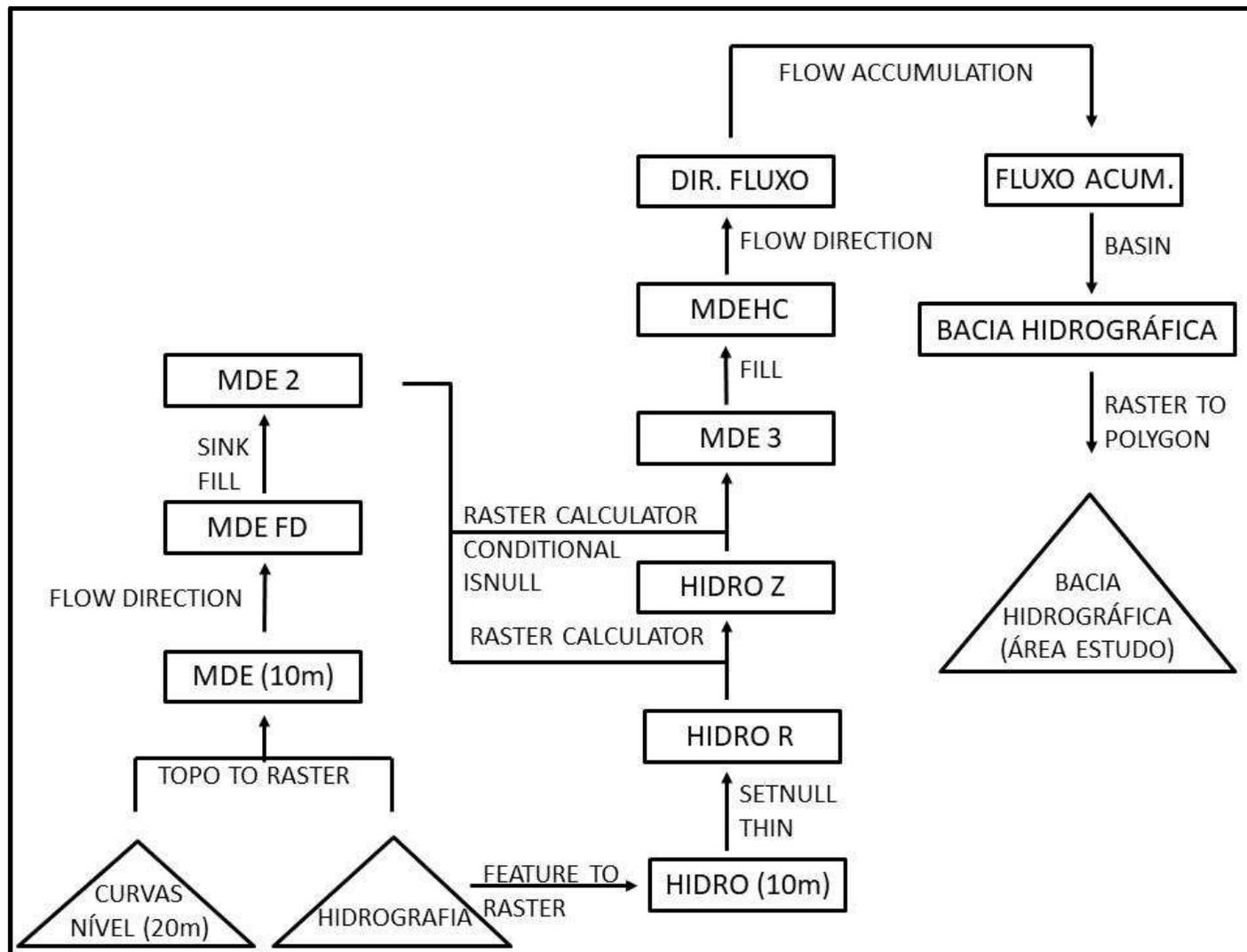


Figura 4. Fluxograma metodológico da geração do MDEHC e delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo.

3.2.3. Delimitação das áreas de preservação permanente de acordo com a Lei 12.651/2012 (Novo Código Florestal)

Para a delimitação das APP foram consideradas apenas as informações contidas na Lei 12.651/2012, desconsiderando a resolução CONAMA 303/2002.

As APP de nascentes, cursos d'água e declividade foram delimitadas segundo a metodologia apresentada por Peluzio, Santos e Fiedler (2010). As APP de nascentes foram delimitadas sobre o arquivo de nascentes dissolvido, estipulando-se um raio de 50 m a partir do ponto de cada nascente.

Para os cursos d'água de margem simples as APP foram delimitadas sobre o arquivo de hidrografia dissolvido, estipulando-se um raio de 30 m a partir da linha que representa o curso d'água.

As APP de cursos d'água de margem dupla foram delimitadas sobre o arquivo que representava as margens do lado direito e o do lado esquerdo de cada curso.

Para se identificar qual seria a largura da faixa de APP no entorno dos cursos d'água de margem dupla, extraiu-se o polígono de cursos d'água do uso da terra 2012/2015. Com base nesse arquivo, foram criados dois novos *shapefiles* de linha denominados de margem do lado direito e margem do lado esquerdo.

Foi criada uma nova coluna na tabela de atributos dos arquivos de margem do lado direito e esquerdo, segmentando-se essas margens em função da largura dos cursos d'água e inseriu-se o valor do raio. Posteriormente gerou-se um raio de 30, 50, 100 ou 200 m a partir da margem e somente para o seu lado externo. Por fim, foram unidas as APP das margens do lado direito com as do lado esquerdo e obteve-se o arquivo de APP de cursos d'água de margem dupla.

Por meio da reclassificação do arquivo de declividade em graus, foram obtidas as APP de declividade. Posteriormente esse arquivo foi convertido gerando as APP vetorizadas.

Todo o procedimento metodológico descrito para a identificação e delimitação das APP de nascentes, cursos d'água e declividade pode ser observado na Figura 5.

As APP de topo de morro foram delimitadas a partir da combinação dos locais em que a diferença de nível entre o ponto de topo e o ponto de sela dos morros era maior ou igual a 100m, com declividade média maior do que 25° e localizadas no terço superior. O procedimento metodológico utilizado foi adaptado de Oliveira e Fernandes Filho (2013).

De posse do MDEHC identificou-se a direção de fluxo que indica o sentido de escoamento da água do pixel central analisado para um de seus oito pixels vizinhos. Como o arquivo gerado apresentou apenas os valores 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 não se fez necessário nenhum método de correção, pois o MDEHC não apresentava sumidouros.

Para a identificação das bases hidrológicas dos morros foi necessário a inversão do MDEHC. Para tanto, adotou-se o valor de 1000 e subtraiu-se o arquivo de MDEHC gerando um MDEHC invertido. Neste arquivo os pontos de topo passaram a representar os vales e vice-versa. Identificou-se a direção de fluxo e as bacias e foram obtidas as bacias invertidas. Essas bacias que normalmente representariam a delimitação da drenagem, por serem geradas a partir de MDEHC invertido, possibilitam a identificação da base hidrológica dos morros que coincidem com os pontos de sela mais altos.

Com o intuito de se identificar os pontos de sela e determinar os seus valores converteram-se as bacias invertidas do formato *raster* para vetorial e o arquivo gerado foi convertido para o formato de linhas. Sobre as linhas de base das bacias invertidas e do MDEHC original identificaram os pontos de maior altitude que coincidem com os pontos de sela de cada morro. Sobre este arquivo gerado aplicou-se a álgebra de mapas e igualou-se o arquivo de pontos de sela com o MDEHC, gerando um novo raster. O arquivo gerado foi submetido a um processo de reclassificação para o valor 1 e convertido para pontos vetoriais. Posteriormente, adicionou-se aos pontos de sela suas respectivas altitudes provenientes do MDEHC.

Os pontos de topo foram obtidos de maneira semelhante aos pontos de sela, com a diferença de que se usou a base das bacias em polígono para a determinação de altitude. Sobre este arquivo gerado utilizou-se a álgebra de mapas e igualou-se o arquivo de pontos de topo com o MDEHC, gerando um novo raster. O arquivo gerado foi reclassificado para o valor 1, convertido para pontos vetoriais e

adicionou-se aos pontos de topo suas respectivas altitudes provenientes do MDEHC.

Após a delimitação das bases hidrológicas dos morros se fez necessário a identificação da base legal dos morros, que corresponde ao ponto de sela mais próximo do ponto de topo. Para isso, criou-se uma tabela de atributos relacionando os pontos e foi inserida a altitude dos pontos de topo e de sela na tabela criada. Posteriormente calculou-se a diferença de altitude entre o ponto de topo e seu ponto de sela mais próximo.

Importaram-se os dados dos pontos de sela mais próximos e altitude para a tabela de atributos de ponto e adicionaram-se as informações dos pontos de topo e sela no arquivo vetorial de base hidrológica dos morros. Depois se converteu o mesmo para raster determinando o campo de altitude do ponto de sela como o valor das células e posteriormente, subtraiu-se ponto de selas do MDEHC. Sobre o arquivo gerado selecionou-se as células com valor maior ou igual a zero e os classificou com o valor 1. Por fim converteu-se esse arquivo para a forma gerando o arquivo de base legal dos morros.

Para a identificação dos morros com diferença mínima de 100 m entre o topo e a sua base conforme solicitada pela legislação, utilizaram os polígonos das bases dos morros e o MDEHC identificando os pontos de maior altitude, seguido da álgebra de mapas entre o arquivo gerado e o de ponto de sela. Posteriormente o raster de diferença de nível entre o topo e a base foi reclassificado selecionando-se os locais com valores iguais ou maiores a 100 e determinando seus valores de saída igualmente a 1.

A identificação das áreas com declividade média superior a 25° conforme a legislação se fez sobre o polígono das bases dos morros e a declividade em graus identificando a declividade média dentro de cada polígono. Posteriormente o arquivo gerado foi reclassificado selecionando-se os locais com valores maiores do que 25° e determinando seus valores de saída igualmente a 1.

De posse dos arquivos com altura igual ou superior a 100 m e declividade média superior a 25° aplicou-se álgebra de mapa obtendo um raster final com valor igual a 1 para as áreas que atendem aos 2 requisitos estipulados pela legislação. Após a identificação destas áreas se fez necessário apenas a determinação do terço superior de cada morro.

Sobre os arquivos de base legal dos morros e MDEHC, gerou-se o arquivo de range dos morros. O terço superior dos morros foi obtido usando a álgebra de mapas dividindo o arquivo de diferença de nível entre os pontos de topo e de sela pelo range de morros maior ou igual a 0,667.

Finalmente para obtenção dos terços superiores dos morros em conformidade com a legislação multiplicaram-se os arquivos de terços superiores com o de altitude maior igual a 100 m e declividade média maior do que 25° com o uso da álgebra de mapas. O arquivo gerado foi convertido para o formato polígono gerando o arquivo de APP de topos de morro que foi dissolvido.

Todo o procedimento metodológico descrito para a identificação e delimitação das APP de topos de morro pode ser observado na Figura 6.

Para a delimitação das APP totais sem que houvesse sobreposição de áreas de preservação e superestimação da área total, foi implementado o procedimento descrito abaixo.

Aplicou-se a subtração da área do arquivo de margem dupla sobre o de margem simples gerando APP margem simples erase e posteriormente uniu-se este arquivo com o de margem dupla, gerando o arquivo APP cursos d'água.

Desta forma, também se subtraiu o arquivo de cursos d'água sobre o de nascentes gerando APP nascentes erase e posteriormente uniu-se este arquivo com o de APP cursos d'água, gerando o arquivo APP nascentes cursos d'água.

Aplicou-se a subtração da área do arquivo de nascentes cursos d'água sobre o de declividade, obtendo-se as APP de declividade erase e posteriormente uniu-se este arquivo com o de nascentes cursos d'água, gerando o arquivo APP nascentes cursos d'água declividade.

Utilizou-se a subtração da área do arquivo de APP topos de morro sobre o de APP de nascentes cursos d'água declividade e posteriormente uniu-se gerando o arquivo de APP totais. Por fim, cortaram-se as APP totais em função da área de estudo.

Na tabela de atributos das APP totais foram criadas 3 novas colunas com os nomes de área em hectares (ha), porcentagem das APP e porcentagem da área de estudo. Posteriormente, calcularam-se as áreas das APP e as suas porcentagens em relação à área total de estudo.

O procedimento metodológico adotado para a eliminação das áreas de sobreposição e delimitação das APPS totais pode ser observado na Figura 7.

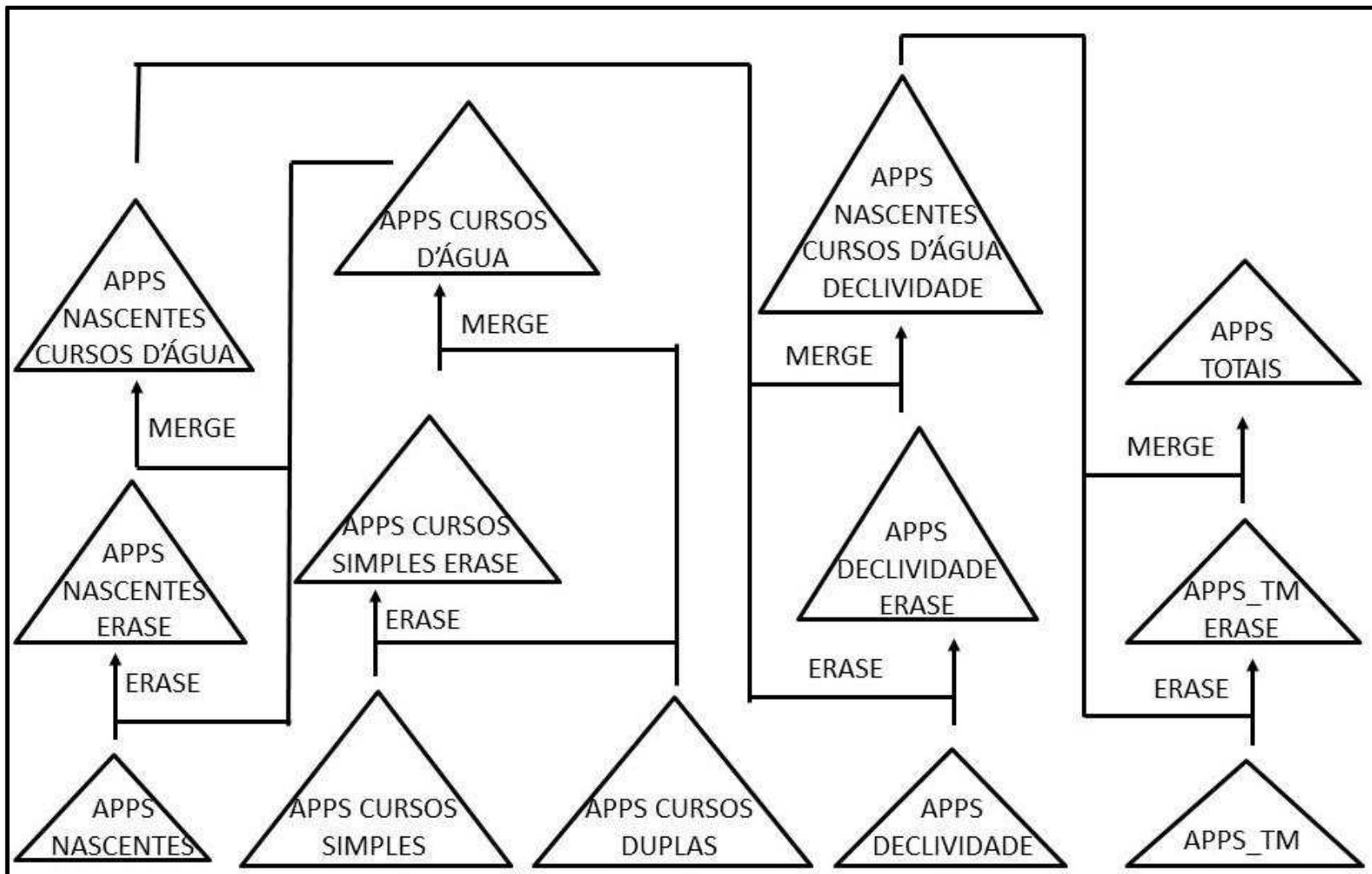


Figura 7. Fluxograma metodológico da delimitação das áreas de preservação totais sem sobreposição.

3.2.4. Identificação de conflitos no uso e ocupação das áreas de preservação permanente

De posse dos *shapefiles* de uso e ocupação da terra dos anos de 2007/2008 e 2012/2015 e dos limites das áreas de preservação permanente adotou-se o procedimento descrito a seguir para identificação dos conflitos de uso inadequado das áreas de preservação permanente.

Os arquivos de uso da terra antes e após a implantação da PCH foram cortados em função dos limites das áreas de preservação permanente. Posteriormente criou-se 2 novas colunas nas tabelas de atributos de cada arquivo de uso da terra dentro das áreas de preservação permanente. Por fim, efetuaram-se os cálculos da área de cada classe e a porcentagem em relação à área total das áreas de preservação permanente.

3.2.5. Determinação e espacialização dos fatores da EUPS

O cálculo da perda de solo da área foi realizado por meio da EUPS (equação 1) proposta por Wischmeier e Smith (1965).

Posteriormente à determinação e espacialização dos fatores da EUPS, foi empregada a equação 1 por meio da álgebra de mapas. Este procedimento permitiu a multiplicação dos mapas temáticos de R, K, LS, C e P, gerando um novo mapa temático com a espacialização pixel a pixel da perda de solo dentro área de estudo para o período anterior (2007/2008) e posterior (2012/2015) à implantação da PCH São Simão.

Os dados pluviométricos necessários para a estimativa da erosividade mensal e anual foram adquiridos do HidroWeb (Sistema de Informações Hidrológicas) da ANA (Agência Nacional de Águas) disponibilizado de forma gratuita por meio do seu site. Atualmente existem 82 postos pluviométricos em atividade no estado do Espírito Santo.

Após a análise dos dados foi realizado o preenchimento das falhas nas séries históricas quando necessário, seguindo o modelo apresentado por Bertoni e Tucci (2004) conforme equação 2. O modelo é baseado na precipitação ocorrida em

estações vizinhas com características de relevo e altitude semelhantes à que necessita o preenchimento.

$$P_e = \frac{1}{n} * \left[\left(\frac{P_{\mu e}}{P_{\mu b}} * P_b \right) + \left(\frac{P_{\mu e}}{P_{\mu c}} * P_c \right) + \left(\frac{P_{\mu e}}{P_{\mu d}} * P_d \right) \right] \quad (\text{eq. 2})$$

Em que:

P_e : precipitação do posto a ser estimado (mm);

n : número de estações vizinhas utilizadas para a estimação do P_e ;

$P_{\mu e}$: precipitação média do mês ou ano do posto a ser estimado (mm);

$P_{\mu b}$; $P_{\mu c}$ e $P_{\mu d}$: precipitações médias do mês ou ano das 3 estações vizinhas (mm);

P_b ; P_c e P_d : precipitações do mês ou ano das 3 estações vizinhas (mm).

Utilizaram-se três postos vizinhos para o preenchimento das falhas e suas escolhas foram baseadas na: proximidade dos pontos; semelhança climática entre os postos (altitude e precipitação) e na ausência de falhas nos mesmos períodos.

Com o intuito de se padronizar a estimativa da erosividade das chuvas, foi selecionado um período de 30 anos de dados pluviométricos em cada estação, compreendendo os anos entre 1986 a 2015, sendo que das 82 estações utilizadas apenas 2 estações não possuíam séries históricas com 30 anos de dados.

A estatística descritiva dos dados de precipitação utilizados na estimativa da erosividade, referentes à média mensal do período de 1986 a 2015, pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise descritiva da precipitação pluviométrica mensal para o período de 1986 a 2015, no estado do ES.

Precipitação (mm)	Medidas de posição					Medidas de dispersão				
	n	Mín.	Máx.	Média	Md.	s	CV(%)	C _s	C _k	K-S
Janeiro	82	76,56	256,37	147,64	144,15	36,84	24,95	0,62	0,35	*
Fevereiro	82	47,12	146,09	92,11	88,12	22,67	24,61	0,46	-0,39	*
Março	82	85,79	242,19	149,90	142,39	31,07	20,73	0,64	0,23	*
Abril	82	39,13	149,85	90,98	91,66	24,58	27,02	0,18	-0,44	*
Maio	82	24,34	110,28	50,47	45,57	18,51	36,68	0,90	0,39	*
Junho	82	13,98	98,82	39,00	31,79	17,30	44,36	0,90	0,40	ns
Julho	82	9,53	99,40	38,44	30,82	20,43	53,16	0,78	-0,11	ns
Agosto	82	12,73	112,66	40,81	34,85	19,25	47,17	1,23	1,90	*
Setembro	82	19,85	124,97	53,43	50,70	21,98	41,15	0,92	0,75	*
Outubro	82	55,76	179,86	98,40	97,37	20,19	20,51	0,87	2,41	*
Novembro	82	141,26	282,75	201,15	192,55	30,35	15,09	0,70	0,29	*
Dezembro	82	133,72	338,94	216,39	217,55	41,72	19,28	0,32	0,11	*
Anual	82	826,07	2.053,37	1.214,49	1.151,92	233,64	19,24	0,93	1,14	

n: número de amostras; Mín: mínimo; Máx: máximo; Md: mediana; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; C_s: coeficiente de assimetria; C_k: coeficiente de curtose; K-S : teste de normalidade de kolmogorov-Smirnov; *: distribuição não normal pelo teste de kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$); ns: distribuição normal pelo teste de kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0,05$).

A erosividade foi estimada para as 82 estações em atividade no estado do Espírito Santo, por meio da equação 3, proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990).

$$R_x = 67,355 \cdot \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (\text{eq. 3})$$

Em que:

R_x : erosividade média mensal da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹);

r : precipitação média mensal (mm);

P : precipitação média anual (mm).

Com o auxílio da equação 3, a erosividade foi estimada mensalmente e com o seu somatório se obteve a erosividade anual conforme equação 4.

$$R_{\text{anual}} = \sum_{i=1}^n R_x \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

R_{anual} : erosividade anual das chuvas (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹);

R_x : erosividade média mensal da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹).

Após a estimativa da erosividade mensal e anual foi realizada a interpolação dos dados para todo o estado do Espírito Santo pixel a pixel com resolução espacial de 10 m. Os mapas temáticos da erosividade das chuvas foram cortados em função da área de estudo, e posteriormente, o mapa foi reclassificado conforme Tabela 3.

Tabela 3. Classes de interpretação para o índice de erosividade anual das chuvas.

Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Classe
$R \leq 2452$	Baixa
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média a Forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito Forte

Fonte: Silva (2004).

A erodibilidade do solo foi obtida conforme equação 5, proposta por Roloff e Denardin (1994).

$$k = 0,0049.PER + 0,0331Mn^{0,5} \quad (\text{eq. 5})$$

Em que:

PER: código adimensional referente à permeabilidade do solo, 1 – rápida, 2 – moderada a rápida, 3 – moderada, 4 – moderada a lenta, 5 – lenta, proposto por Wischmeier et al. (1971);

Mn: é o teor de silte (g g^{-1}) multiplicado pela soma de silte e areia fina (g g^{-1}).

Os valores de silte e areia fina podem ser observados na Figura 8, bem como a classificação textural de cada classe de solo, que serviu como base para determinação dos valores de PER.

Após a determinação dos valores de K em função da análise física do solo da área de estudo, realizou-se uma consulta bibliográfica com o intuito de comparar os valores obtidos. Estes valores podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de erodibilidade utilizados para os solos da área de estudo.

Classes de solo		Fator K (Fonte)	K médio	K análise
Argissolo vermelho	0,0178	Mannigel et al. (2002)	0,0201	0,0205
	0,0197	Morais e Sales (2017)		
	0,0228	Mannigel et al. (2002)		
Argissolo vermelho-amarelo	0,0260	Silva (1978)	0,0294	0,0251
	0,0293	Chaves (1994)		
	0,0330	Marques et al. (1997)		
Neossolo litólico	0,0180	Demarchi e Zimback (2014)	0,0270	0,0245
	0,0280	Silva (1978)		
	0,0350	Chaves (1994)		
Nitossolo vermelho	0,0240	Correchel (2003)	0,0255	0,0264
	0,0250	Correchel (2003)		
	0,0275	Chagas (2011)		



LABORATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO RAPHAEL M. BLOISE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO VEGETAL
Alto universitário, Caixa Postal 16, Tel: (28) 999323421



Proprietário:	Vagner Mauri Quinto
Propriedade:	
Cidade:	Alegre, ES
Solicitante:	O mesmo

Amostra	Identificação
142	A1
143	A2
144	A3
145	A4

Amostras	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classificação
	%	%	%	%	
142	33,2	11,9	11,6	43,3	Textura ARGILOSA
143	21,0	4,7	3,9	70,4	Textura MUITO ARGILOSA
144	21,2	12,8	9,7	56,3	Textura ARGILOSA
145	55,5	13,2	12,0	19,3	Textura MEDIA

Método utilizado: Agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, com agitador tipo Wagner; dispersante químico: NaOH 0,1 mol/L e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta (Almeida et al., 2012).

Responsável


Renato Ribeiro Passos
Dep. Produção Vegetal - CCA/UFES
29500-000 / Alegre - ES
BRASIL



Figura 8. Análise física de solo.

O arquivo vetorial de classificação dos solos foi cortado em função da área de estudo. Posteriormente, foi criada uma nova coluna na tabela de atributos e nomeada K, sendo inseridos nessa tabela os valores de erodibilidade de cada classe de solo obtidos por meio do uso da equação de Rollof e Denardin (1994), apresentados na Tabela 3. Posteriormente o arquivo vetorial de solos foi convertido para formato *raster* com resolução espacial de 10 m.

Para a determinação do fator comprimento de rampa foi necessário determinar a declividade da área de estudo. Para tanto, utilizou-se o MDEHC gerando o arquivo *raster* de declividade em porcentagem e em graus com resolução espacial de 10 m.

De posse do mapa de declividade em porcentagem, o mesmo foi reclassificado com o intuito de se obter os valores do fator m conforme Wischmeier, Smith (1965), em que: $m = 0,5$ se $D \geq 5\%$; $m = 0,4$ se $5 > D \geq 3\%$; $m = 0,3$ se $3 > D \geq 1\%$; e $m = 0,2$ se $D < 1\%$. No processo de reclassificação adicionaram-se os valores 2, 3, 4 e 5 para as 4 classes reclassificadas, gerando novo arquivo denominado M1. Posteriormente o arquivo M1 contendo dados inteiros foi dividido por 10, gerando o arquivo raster de valores de m com resolução espacial de 10 m.

O fator comprimento de rampa foi obtido por meio do uso da equação 6 com a aplicação da álgebra de mapas.

$$L = \sqrt{P^2 + \left(\frac{D}{100} \cdot P\right)^2} \quad (\text{eq. 6})$$

Em que:

L: comprimento de rampa (adimensional);

P: tamanho do pixel (10 m);

D: declividade (%).

De posse do mapa de comprimento de rampa em formato *raster* foi aplicado álgebra de mapa baseada na equação 7 proposta por Wischmeier e Smith (1965) com o objetivo de se obter o comprimento de rampa em conformidade com a EUPS.

$$L_{EUPS} = \left(\frac{L}{22,13}\right)^m \quad (\text{eq. 7})$$

Em que:

L_{EUPS} : comprimento de rampa da EUPS (adimensional);

L: comprimento de rampa da área de estudo (adimensional);

m: parâmetro de ajuste que varia em razão da declividade da encosta admitindo-se valor de 0,5 se $D \geq 5\%$, 0,4 se $3,0 \leq D < 5,0\%$, 0,3 se $1,0 \leq D < 3,0\%$ e 0,2 se $D < 1,0\%$.

O fator grau de declividade foi obtido conforme Wischmeier e Smith (1965) por meio da equação 8.

$$S = 0,0076 + 0,0053D + 0,00076D^2 \quad (\text{eq. 8})$$

Em que:

S: grau de declividade (adimensional);

D: declividade (%).

Por fim foi calculado o fator topográfico conforme Wischmeier e Smith (1965) por meio da equação 9.

$$LS = \sqrt{\left(\frac{L}{22,13}\right)^m (0,0076 + 0,0053D + 0,00076D^2)} \quad (\text{eq. 9})$$

Em que:

LS: fator topográfico (adimensional);

L: comprimento de rampa da área de estudo (adimensional);

m: parâmetro de ajuste que varia em razão da declividade da encosta admitindo-se valor de 0,5 se $D \geq 5\%$, 0,4 se $3,0 \leq D < 5,0\%$, 0,3 se $1,0 \leq D < 3,0\%$ e 0,2 se $D < 1,0\%$;

D: declividade (%).

Após a determinação dos fatores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo e fator topográfico, calculou-se o potencial natural de erosão conforme equação 10 proposta por Stein et al. (1987). Posteriormente, o poder natural de erosão foi reclassificado conforme Tabela 5.

$$PNE = R . K . LS \quad (\text{eq. 10})$$

Em que:

PNE: potencial natural de erosão ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R: erosividade média anual da chuva ($\text{MJ mm h}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

K: erodibilidade do solo mantido sem cobertura e com tratos culturais em um declive de 9% e comprimento de rampa de 22,13 m ($\text{t ha h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$);

LS: fator topográfico (adimensional).

Tabela 5. Classes de interpretação do potencial natural de erosão.

PNE ($\text{t ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	Classe
≤ 250	Muito Baixo
250 – 500	Baixo
500 – 750	Moderado
750 – 1.000	Alto
> 1.000	Muito Alto

Fonte: Lagrotti (2000).

A identificação de uso e ocupação da terra para o período de 2007/2008 foi disponibilizada pelo GEOBASES, sendo realizada sobre uma aerofoto com resolução espacial de 1 m, correspondendo ao período anterior à implantação da PCH.

Para o período posterior à implantação da PCH, foi utilizada a técnica de fotointerpretação em tela em escala constante de 1:1.500 sobre uma aerofoto com resolução espacial de 0,25 m referente aos anos 2012/2015 disponibilizada pelo GEOBASES.

De posse dos mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 2007/2008 e 2012/2015 realizou-se a dissolução das classes de uso da terra possibilitando a identificação de todas as classes em apenas uma linha. Posteriormente foram criadas 2 novas colunas nas suas tabelas de atributos, possibilitando a inserção dos valores de C e P obtidos por meio de consulta em literatura, conforme Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6. Valor do fator de cobertura e manejo do solo.

Classes de uso da terra	C	Fonte
Açude/Lago	0,0	Silva, Paiva e Santos (2009)
Afloramento rochoso	0,001	Ribeiro e Alves (2008)
Área edificada	0,0	Pimenta (1998)
Brejo	0,0	Silva, Paiva e Santos (2009)
Café	0,0201	Silva (2007)
Campo sujo	0,1	Pimenta (1998)
Coco da bahia	0,02	Stein et al. (1987)
Cultivos permanentes	0,02	Stein et al. (1987)
Cultivos temporários	0,2	Stein et al. (1987)
Estrada não pavimentada	0,01	Pimenta (1998)
Estrada pavimentada	0,01	Pimenta (1998)
Eucalipto	0,01	Tomazoni et al. (2005)
Massa d'água	0	Pimenta (1998)
Mata nativa	0,0004	Fujihara (2002)
Mata nativa em estágio inicial	0,003	Walker (2004)
Pastagem	0,01	Fujihara (2002)
Solo exposto	1	Farinasso et al. (2006)

Tabela 7. Valor do fator práticas conservacionistas.

Prática conservacionista	Inclinação do terreno (%)			
	2 a 7	8 a 12	13 a 18	19 a 24
Plantio morro a baixo*	1,0	1,0	1,0	1,0
Faixas niveladas	0,5	0,6	0,8	0,9
Cordões de vegetação permanente	0,25	0,3	0,4	0,45
Terraceamento	0,1	0,12	0,16	0,18

Fonte: Righeto (1998).

* refere-se à ausência de prática conservacionista, ou seja, não é uma prática de conservação do solo.

Os arquivos vetoriais de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas foram convertidos para o formato *raster* em função das suas colunas C e P gerando

uma imagem do fator C para 2007/2008 e para 2012/2015 e outra do fator P para 2007/2008 e para 2012/2015.

Após a confecção dos mapas de R, K, LS, C_07/08, C_12/15 e P_07/08 e P_12/15, bastou aplicar a álgebra de mapas e geraram-se os mapas de perda de solo 07/08 e 12/15. Por fim, os mesmos foram reclassificados para identificar a perda de solos conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Classes de interpretação da perda de solo.

Perda de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Classes
PS ≤ 10	Muito baixa
10 < PS ≤ 20	Baixa
20 < PS ≤ 50	Moderada
50 < PS ≤ 100	Alta
PS > 100	Muito alta

Fonte: Lagrotti (2000).

Todo o procedimento metodológico desenvolvido para a determinação da perda de solo nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015 pode ser observado na Figura 9.

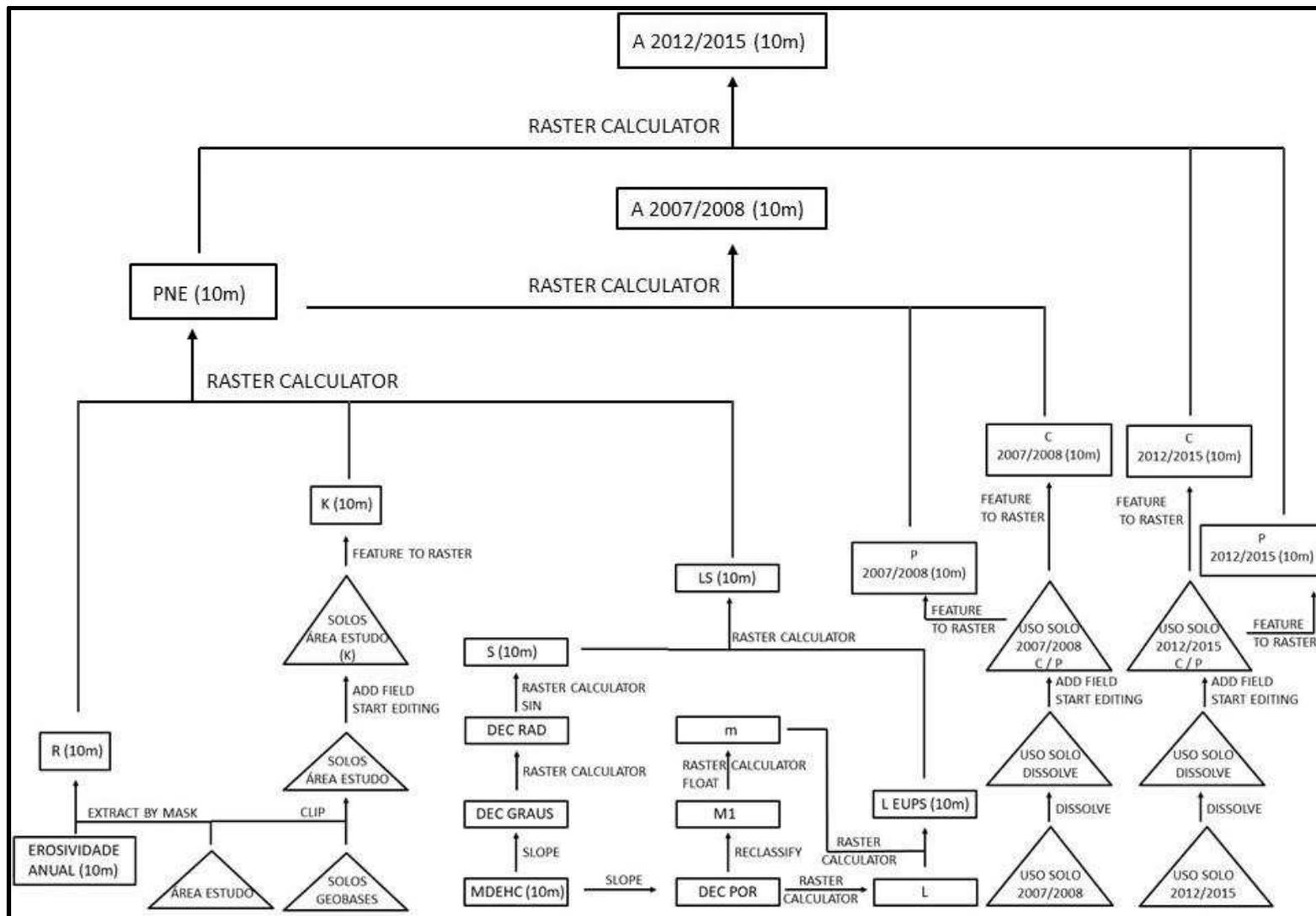


Figura 9. Fluxograma metodológico da determinação da perda de solo da área de estudo nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015.

3.2.6. Quantificação da perda de solos dentro das áreas de preservação permanente

Após a delimitação das APP e a quantificação da perda de solo dentro da bacia hidrográfica em estudo, foi realizada a identificação do volume de solo perdido dentro das APP.

De posse do arquivo vetorial de APP Totais, realizou-se a exportação dos *shapefiles* de APP de nascentes, cursos d'água, declividade e topos de morro sem sobreposição de áreas.

Os arquivos *raster* de perda de solo 2007/2008 e 2012/2015 foram cortados pelos limites das classes de APP. Posteriormente, os mesmos foram reclassificados com o intuito de se padronizar a perda de solo dentro de todas as classes de APP. A reclassificação dos arquivos de perda de solo foi realizada conforme a Tabela 8.

Todo o procedimento metodológico desenvolvido para a determinação da perda de solo nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015 dentro das APP pode ser observado na Figura 10.

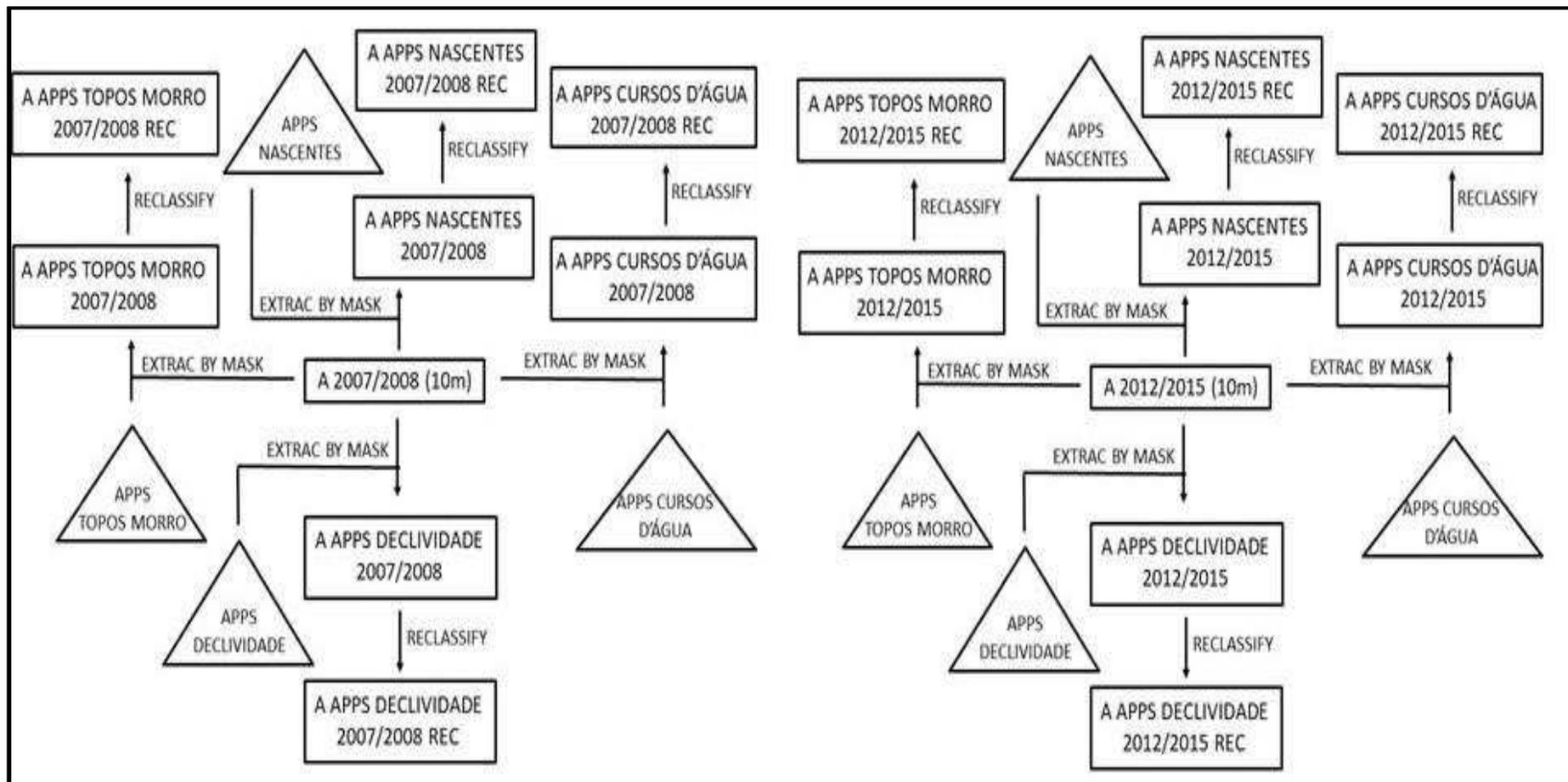


Figura 10. Fluxograma metodológico da identificação da perda de solo dentro das áreas de preservação permanente nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015.

3.2.7. Desenvolvimento do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas (INRAD)

Para o desenvolvimento do INRAD adotou-se a metodologia AHP desenvolvida por Saaty (1977), conforme descrito abaixo.

O primeiro passo do procedimento é a formação da matriz pareada, conforme matriz A, abaixo. A definição dos valores de $a_{m,n}$ é feita pelo pesquisador com base nos seus conhecimentos sobre o tema e baseado na Tabela 1.

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix}$$

Após a elaboração da matriz pareada, é necessário calcular o peso estatístico para cada variável do modelo. Esse procedimento consiste na divisão de cada valor da matriz pelo somatório da coluna a que pertence. Por fim, somam-se os pesos contidos na mesma linha e os divide pelo número de características em análise, conforme matriz A_p .

$$A_p = \begin{bmatrix} a_{1,1}/\sum_{m=1}^n a_{m,1} & a_{1,2}/\sum_{m=1}^n a_{m,2} & \cdots & a_{1,n}/\sum_{m=1}^n a_{m,n} \\ a_{2,1}/\sum_{m=1}^n a_{m,1} & a_{2,2}/\sum_{m=1}^n a_{m,2} & \cdots & a_{2,n}/\sum_{m=1}^n a_{m,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1}/\sum_{m=1}^n a_{m,1} & a_{m,2}/\sum_{m=1}^n a_{m,2} & \cdots & a_{m,n}/\sum_{m=1}^n a_{m,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{2,1} \\ \vdots \\ w_{m,1} \end{bmatrix}$$

Depois de se determinar os pesos estatísticos, é necessário conferir se os mesmos estão adequados. A comprovação é feita por meio do cálculo da RC (razão de consistência), conforme equação 11, apresentada por Saaty (1977). Ainda segundo este autor, quanto maior o valor de RC maior será a inconsistência do modelo, devendo o RC apresentar valor nulo se a matriz for de ordem 2, menor do que 0,5 se a matriz for de ordem 3 e igual ou menor do que 0,10 se for de ordem 4, para comprovar a consistência do mesmo.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{eq. 11})$$

Em que:

RC: razão de consistência (adimensional);

IC: índice de consistência (adimensional);

IR: índice aleatório (adimensional).

O valor IR foi obtido da Tabela 9, segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge, EUA.

Tabela 9. Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.

n	2	3	4	5
IR	0,0	0,58	0,90	1,12

O IC (índice de consistência) pode ser obtido com o uso da equação 12, apresentada por Saaty (1977).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{eq. 12})$$

Em que:

IC: índice de consistência (adimensional);

λ_{max} : autovetor (adimensional);

n: número de variáveis testadas.

O λ_{max} (autovetor) pode ser obtido com o uso da equação 13, apresentada por Saaty (1977).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (\text{eq. 13})$$

Em que:

λ_{max} : autovetor (adimensional);

n: número de variáveis testadas;

[Aw]: matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada pela matriz dos pesos calculados (w_i);

w_i : pesos estatísticos calculados.

O cálculo dos valores de A_{wi} pode ser observado abaixo.

$$A_{wi} = A \times w_i = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{2,1} \\ \vdots \\ w_{m,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{w1} \\ a_{w2} \\ \vdots \\ a_{wn} \end{bmatrix}$$

Após a realização dos cálculos o modelo foi definido e está apresentado na equação 14, abaixo.

$$INRAD = (0,5579 \cdot APPS_{REC} + 0,2633 \cdot A_{REC} + 0,1219 \cdot DFA_{REC} + 0,0569 \cdot ALT_{REC}) \cdot P_{INRAD}$$

(eq. 14)

Em que:

INRAD: índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas (adimensional);

APPS_{REC}: áreas de preservação permanente reclassificadas (adimensional);

A_{REC}: perda de solo reclassificada (adimensional);

DFA_{REC}: direção de fluxo acumulado reclassificado (adimensional);

ALT_{REC}: altitude reclassificada (adimensional);

P_{INRAD}: fator de correção.

O arquivo *shapefile* de APP foi extraído de dentro da área de estudo e obteve-se o arquivo área de estudo APP. Posteriormente o mesmo foi unido com o de APP. Por meio deste procedimento gerou-se um novo arquivo denominado APP_AE que possuía 2 polígonos, um representado as APP e outro as demais áreas da bacia hidrográfica. Foi adicionada uma nova coluna na tabela de atributos e determinaram os valores de 1 para a bacia e 10 para as APP.

Após a reclassificação do arquivo o mesmo foi convertido gerando a imagem *raster* de APP_{REC} com resolução espacial de 10 m.

A imagem *raster* de perda de solo 2012/2015 foi reclassificada com base na Tabela 10, permitindo assim a obtenção do arquivo de A_{REC} com resolução espacial de 10 m.

Tabela 10. Classes de interpretação da perda de solo para o INRAD.

Perda de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Classes	Pesos
0 < PS ≤ 0,1	Extremamente baixa	0
0,1 < PS ≤ 10	Muito baixa	2
10 < PS ≤ 20	Baixa	4
20 < PS ≤ 50	Moderada	6
50 < PS ≤ 100	Alta	8
PS > 100	Muito alta	10

Fonte: Adaptado de Lagrotti (2000).

A partir do MDEHC obteve-se a direção de fluxo dentro da bacia, e posteriormente, esse arquivo foi utilizado para a geração da direção de fluxo acumulada.

O arquivo raster de precipitação média anual gerado com o uso da krigagem foi cortado em função da área de estudo. Posteriormente com o auxílio da álgebra de mapas e uso da equação 15, obteve-se a precipitação média em mm/h.

$$PM = \frac{PMA}{4.379,04} \quad (\text{eq. 15})$$

Em que:

PM: precipitação média (mm/h);

PMA: precipitação média anual (mm).

Segundo Foster et al. (1981) precipitações superiores a 76 mm/h possuem energia cinética constante e conseqüentemente o maior potencial erosivo.

Baseado na afirmativa supracitada, adotou-se o valor de 76 mm/h como o limite para a formação dos cursos d'água. Locais de relevo plano com a precipitação de 76 mm/h apresentariam a formação de uma lâmina uniforme sobre toda a área, contudo relevos ondulados como o da área de estudo proporcionam o escoamento da água e o direcionamento desta para os locais de menor altitude, formando os cursos d'água. Desta forma, foi desenvolvida a equação 16 e a mesma aplicada sobre o mapa de precipitação média.

$$CD = \frac{76}{VMPM} \quad (\text{eq. 16})$$

Em que:

CD: cursos d'água (número de células de contribuição);

VMPM: valor médio da precipitação média para a área de estudo (mm/h).

De posse do mapa de precipitação média adotou-se o valor médio do mesmo para toda a área de estudo. Este valor foi utilizado para a identificação do número mínimo de células da direção de fluxo acumulado necessárias para a formação dos cursos d'água.

O mapa temático da precipitação média anual apresentou valor médio de 0,3230 mm/h. Após a realização do cálculo com o uso da equação 16, obteve-se como resultado o valor de 235,32 células, sendo este arredondado para 236 células.

O mapa temático de direção de fluxo acumulado foi reclassificado conforme a Tabela 11, obtendo-se o arquivo de DFA_{REC}.

Tabela 11. Classes de interpretação da direção de fluxo acumulado para o INRAD na bacia hidrográfica da PCH São Simão.

Direção de fluxo acumulado	Classes	Pesos
DFA ≤ 20	Muito baixa	2
20 < DFA ≤ 70	Baixa	4
70 < DFA ≤ 120	Moderada	6
120 < DFA ≤ 170	Alta	8
170 < DFA ≤ 236	Muito alta	10
DFA > 236	Cursos d'água	0

O MDEHC foi reclassificado com base na Tabela 12, permitindo assim a obtenção do arquivo de ALT_{REC} com resolução espacial de 10 m.

Tabela 12. Classes de interpretação do MDEHC para o INRAD na bacia hidrográfica da PCH São Simão.

Altitude	Pesos
$ALT \leq 300$	2
$300 < ALT \leq 400$	4
$400 < ALT \leq 500$	6
$500 < ALT \leq 600$	8
$ALT > 600$	10

Na tabela de atributos de uso da terra 2012/2015 adicionou-se uma nova coluna com o nome de P_INRAD. Posteriormente, foram inseridos os valores de P. Por fim, a coluna P_INRAD foi convertida para arquivo *raster* com resolução espacial de 10 m. Este atributo foi introduzido como fator de correção do modelo e reclassificado conforme Tabela 13.

Tabela 13. Classes de interpretação do fator de correção do INRAD.

Uso do solo	Pesos
Açudes / Lagos / Brejos / Cursos d'água / Mata nativa / Fragmento Florestal	0
Outros usos	1

De posse do modelo definido (eq. 14) aplicou-se a álgebra de mapa sobre a área da microbacia para identificação do INRAD. Posteriormente, o mapa temático do INRAD foi reclassificado conforme a Tabela 14, para separação das áreas de necessidade de recuperação em classes.

Tabela 14. Classes de interpretação do INRAD.

INRAD	Classes
$INRAD \leq 2$	Muito baixo
$2 < INRAD \leq 4$	Baixo
$4 < INRAD \leq 6$	Moderado
$6 < INRAD \leq 8$	Alto
$INRAD > 8$	Muito alto

Em que:

PSA: pagamento por serviços ambientais (R\$);

A_M : área da microbacia hidrográfica (ha);

APP_R : área de preservação permanente a ser recuperada (ha);

APP_P : área de preservação permanente preservada (ha);

$NAPP_P$: não área de preservação permanente preservada (ha).

Após o desenvolvimento do modelo supracitado adotou-se compensar de uma forma diferenciada os produtores que já apresentam áreas de preservação permanente preservada, gerando assim o novo modelo conforme equação 18.

$$RHPR = \frac{R\$}{APP_T} (APP_R + 1,2605APP_P + 1,1062NAPP_P) \quad (\text{eq. 18})$$

Em que:

RHPR: ressarcimento por hectare preservado ou a ser recuperado (R\$/ano);

APP_T : área de preservação permanente total (ha);

APP_R : área de preservação permanente a ser recuperada (ha);

APP_P : área de preservação permanente preservada (ha);

$NAPP_P$: não área de preservação permanente preservada (ha).

Para realizar uma simulação de PSA a produtores fictícios, criou-se 20 pontos aleatórios com distância mínima de 200 m um do outro dentro dos limites da bacia hidrográfica. Posteriormente criou-se um buffer com raio de 178,415 m ao redor de cada ponto. Foram selecionados 12 pontos que não apresentavam seus limites ultrapassando a microbacia, denominados de Propriedades_Rurais_1 até Propriedades_Rurais_12, simulando assim 12 propriedades rurais aleatórias dentro da microbacia com 10 ha de área total.

O arquivo vetorial de uso da terra 2012/2015 foi cortado em função dos limites das 12 propriedades. As propriedades foram colocadas sob o *shapefile* de APP com transparência de 50% e fotointerpretada novamente em 3 classes: APP a ser recuperada, APP preservada e NAPP preservada. Posteriormente, foi calculada a área de cada classe e efetuado o cálculo do valor que cada propriedade teria direito a receber caso aderissem ao programa de pagamento por serviços ambientais conforme a equação 18.

Todo o procedimento metodológico desenvolvido para a simulação das áreas a serem remuneradas pode ser observado na Figura 12.

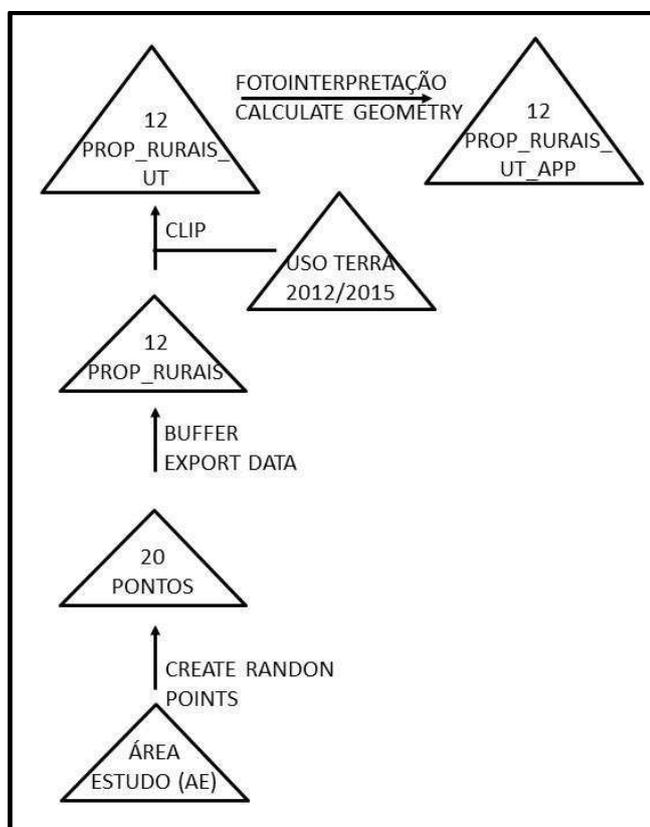


Figura 12. Fluxograma metodológico da simulação de áreas a serem remuneradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA

Os mapas temáticos de uso e cobertura da terra nos períodos de 2007/2008 e 2012/2015 podem ser observados nas Figuras 13 e 14, respectivamente.

Observa-se nas Figuras 13 e 14 e na Tabela 15, que há predomínio das classes de pastagem ocupando 74,69% (2007/2008) e 69,74%(2012/2015), mata nativa 9,42% e 11,49%, mata nativa em estágio inicial de regeneração 4,24% e 2,19% e afloramento rochoso 3,83% e 4,37%, nos dois períodos de estudo, respectivamente. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Silva, Santos e Balan (2011), após realizarem uma análise multitemporal da cobertura do solo na área de influência da PCH – São Simão, utilizando imagens suborbital e orbital.

Conforme se observa na Tabela 15 e nas Figuras 13 e 14, a bacia hidrográfica apresenta pequena diversificação na produção agrícola, com os produtores concentrando suas atividades no cultivo da pastagem para criação de gado e na cafeicultura. Resultado semelhante foi obtido por Coutinho et al. (2013) em um estudo sobre usos da terra e áreas de preservação permanente na bacia do Rio Prata, Castelo - ES.

A predominância do cultivo de pastagem para criação extensiva de gado, seguida dos remanescentes florestais e baixa diversificação na produção agrícola é uma realidade antiga da região. Os resultados obtidos neste estudo para o período pós-implantação da PCH corroboram com os obtidos por Nascimento et al. (2005) em seu estudo sobre o uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo.

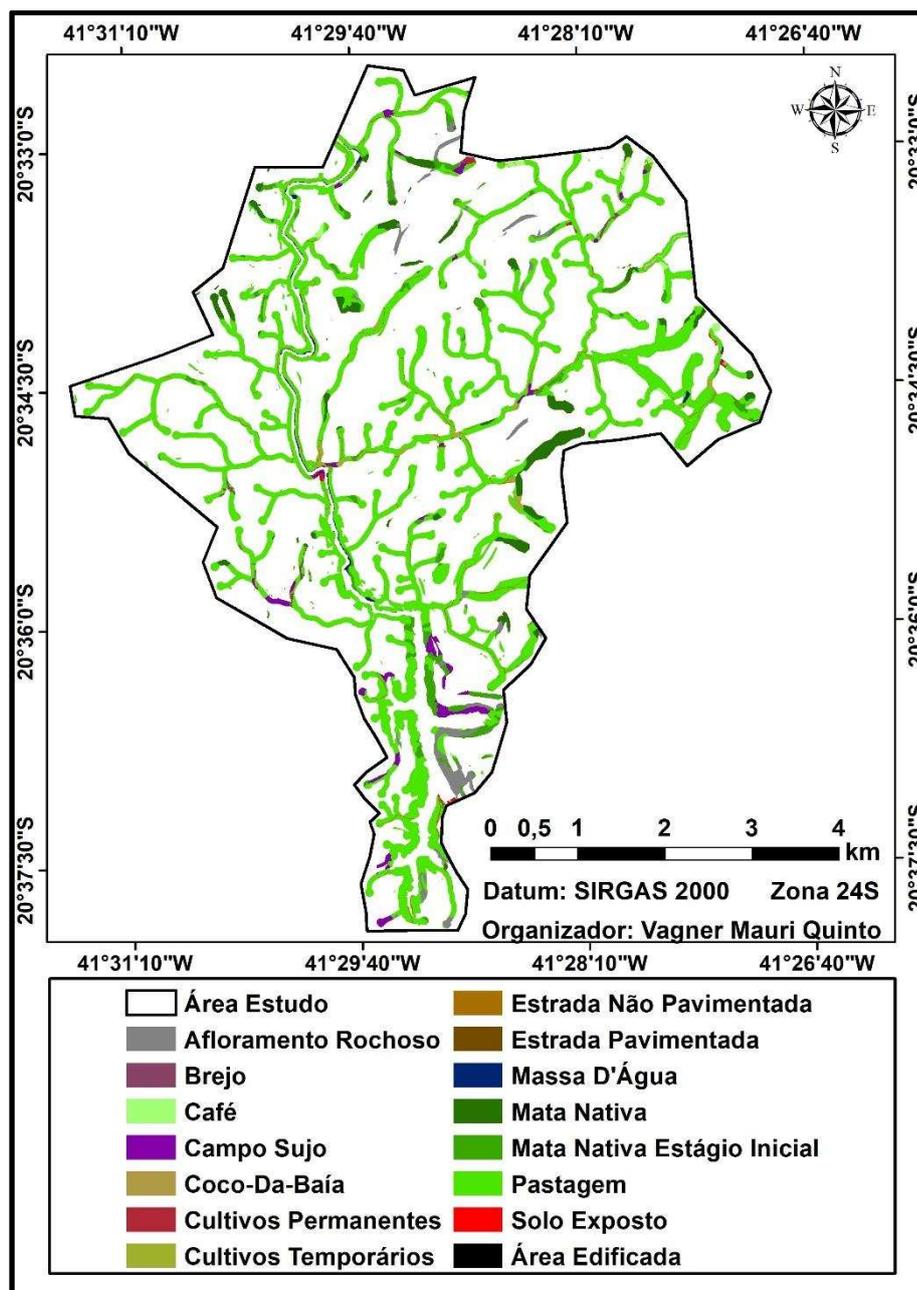


Figura 13. Mapa temático de uso e cobertura da terra no período de 2007/2008, adaptado (GEOBASES, 2016).

Tomando como base o mapeamento de uso e cobertura da terra de 2012/2015, é possível observar a pequena área preservada ou em recuperação, tendo em vista que apenas 11,49% da área encontra-se coberta por mata nativa e 2,19% por mata nativa em estágio inicial de regeneração.

A área cultivada com pastagem (69,74%) e a área coberta por mata nativa e/ou mata nativa em estágio inicial de regeneração (13,68%) indicam que a bacia não se apresenta sustentável. Esses resultados corroboram com os obtidos por

Nascimento et al. (2005). Coutinho et al. (2013), também identificaram a pastagem como sendo a classe predominante.

Os locais de afloramento rochoso possuem uma área significativa com 153,75 ha ou 4,37% da bacia (Tabela 15). Normalmente essas áreas são envoltas por solos rasos e ainda em formação, desta forma se tornam mais susceptíveis a processos erosivos.

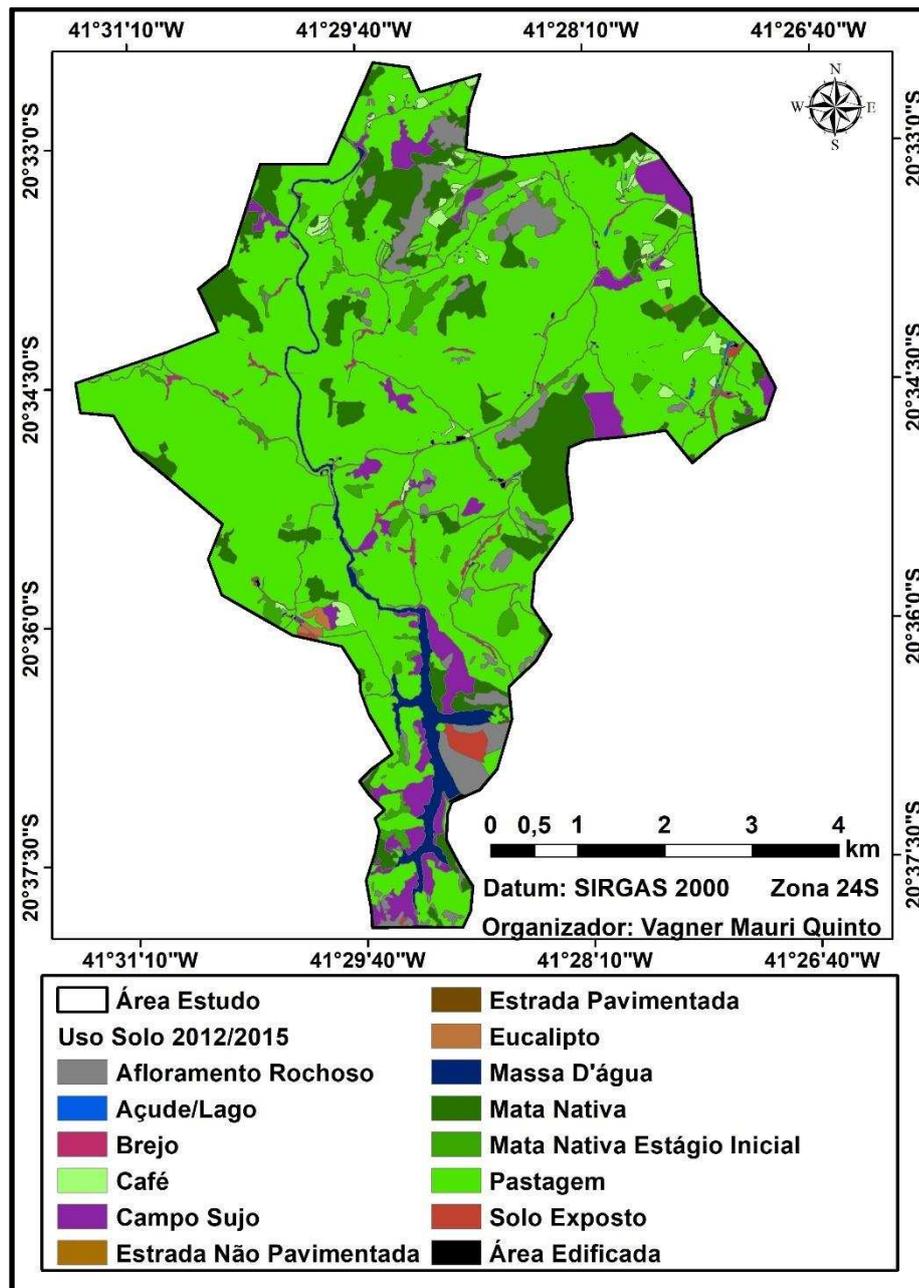


Figura 14: Mapa temático de uso e cobertura da terra no período de 2012/2015.

Tabela 15. Classes de uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica da PCH São Simão.

Classes de uso da terra	2007/2008		2012/2015	
	Área (ha)	% bacia	Área (ha)	% bacia
Açude/Lago	---	---	2,97	0,08
Afloramento rochoso	134,94	3,83	153,75	4,37
Área edificada	1,13	0,03	8,61	0,24
Brejo	6,11	0,17	15,34	0,44
Café	57,5	1,63	46,81	1,33
Campo sujo	83,99	2,39	188,28	5,35
Coco da bahia	0,5	0,01	---	---
Cultivos permanentes	4,14	0,12	---	---
Cultivos temporários	23,89	0,68	---	---
Estrada não pavimentada	54,76	1,56	43,75	1,24
Estrada pavimentada	1,06	0,03	2,34	0,07
Eucalipto	---	---	7,33	0,21
Massa d'água	32,94	0,94	92,72	2,63
Mata nativa	331,48	9,42	404,24	11,49
Mata nativa em estágio inicial	149,21	4,24	77,22	2,19
Pastagem	2628,12	74,69	2454,09	69,74
Solo exposto	8,99	0,28	21,32	0,61
Total	3518,76	100,00	3518,76	100,00

A análise temporal da bacia (Tabela 16) ilustra a ausência de implementação de projetos de reflorestamento ou recuperação de áreas degradadas até o período 2012/2015. Entre os períodos analisados houve aumento de 72,76 ha na área de mata nativa e redução de 71,99 ha na área de mata nativa em estágio inicial, ou seja, ocorreu apenas a evolução natural dos estágios de desenvolvimento das florestas, sem a implementação de novas áreas de reflorestamento.

Tabela 16. Evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica da PCH São Simão.

Classes de uso da terra	Área (ha) 2007/2008	Área (ha) 2012/2015	Diferença (ha)	Diferença (%)
Café	57,5	46,81	-10,69	-18,59
Campo sujo	83,99	188,28	104,29	124,17
Massa d'água	32,94	92,72	59,78	181,47
Mata nativa	331,48	404,24	72,76	21,95
Mata nativa em estágio inicial	149,21	77,22	-71,99	-48,25
Pastagem	2628,12	2454,09	-174,03	-6,62
Solo exposto	8,99	21,32	12,33	137,12

A redução de 174,03 ha da área de pastagem (Tabela 16) é um dado que também merece atenção. Como já era esperado houve aumento de 59,78ha na área de massa d'água, pois essa era a intenção da construção da PCH para produção de energia elétrica, contudo, o aumento de 104,29 ha na área de campo sujo e 12,33 ha na área de solo exposto, indica dificuldades dos agricultores em continuar a praticar suas atividades e tendência no aumento de áreas degradadas, respectivamente.

O cultivo do café apresentou redução de 10,69 ha (Tabela 16). Essa redução esta relacionada ao manejo cultural da espécie como a realização de uma poda drástica para renovação da lavoura ou pode estar corroborando com o dado de aumento da área de campo sujo e indicação de dificuldade dos produtores em manter suas atividades.

4.2. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

As APP identificadas na bacia podem ser observadas na Figura 15.

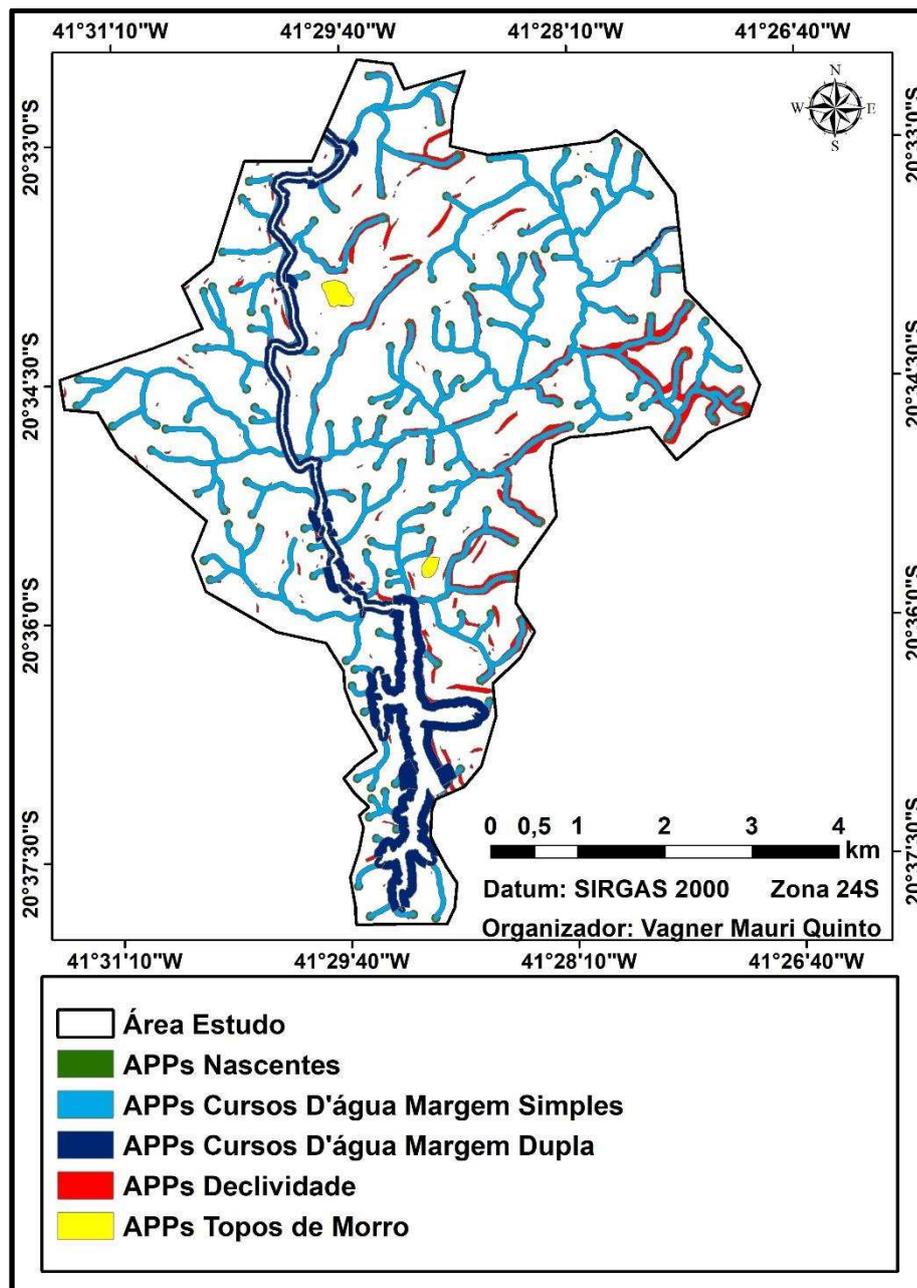


Figura 15. Mapa temático das áreas de preservação permanente dentro dos limites da bacia hidrográfica da PCH São Simão conforme a Lei 12.651/12.

Após a identificação das APP encontrou-se a necessidade da existência de 927,52 ha em área preservada, conforme apresentado na Tabela 17. Essa área total se encontra sem sobreposição de classes de APP, ou seja, não há uma mesma área computada em duas classes.

Tabela 17. Quantificação das áreas de preservação permanente.

Classes de APPS	Área (ha)	% APP	% bacia
Nascentes	49,71	5,36	1,41
Cursos d'água margem simples	523,23	56,41	14,87
Cursos d'água margem dupla	217,08	23,40	6,17
Declividade	125,87	13,57	3,58
Topos de morro	11,63	1,26	0,34
Total	927,52	100,00	26,36

Conforme se observa na Tabela 15, 927,52 ha ou 26,36% da bacia deveriam ser recobertos por áreas florestadas, sejam estas áreas de matas nativas, secundárias ou de reflorestamento, em locais de APP. Se fossem acrescidos os 20% de reserva legal estipulado por lei para ecossistemas de Mata Atlântica, como o da região de estudo, seria necessário que quase metade da área estivesse florestada.

Entretanto, atualmente existem 481,46 ha ou 13,68% (Tabela 15), ou seja, aproximadamente metade da área que deveria estar preservada, sendo que nem toda área de mata está dentro das APP.

Observa-se na Figura 15 e na Tabela 17 que a predominância das áreas de preservação permanente de cursos d'águas, correspondendo essa a 79,81% das APP dentro da bacia. Esse resultado já era esperado, tendo em vista que o local de estudo é uma área destinada ao represamento de água para produção de energia elétrica, ou seja, tem que ser uma área com vários afluentes direcionados para a represa.

As APP de declividade são a segunda maior classe presente na bacia com 125,87 ha ou 13,57%. Esse resultado também já era esperado por ser uma região montanhosa, contudo, apesar do relevo acidentado, com a nova legislação as APP de topos de morro se tornaram inexpressivas na área de estudo, sendo encontradas em apenas 11,63 ha ou 1,26% da bacia.

As APP de nascentes apesar de estarem presentes em apenas 49,71 ha ou 1,41% da bacia, são importantes, pois são elas quem mantêm o fluxo contínuo de água nos cursos. Sem a preservação das nascentes, as mesmas poderão secar e

desta forma, os afluentes deixarão de desaguar nos cursos principais, tornando inviável a atividade hidrelétrica presente na bacia.

4.3. CONFLITO NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

As áreas de cada classe de uso e cobertura da terra dentro das APP podem ser observadas na Tabela 18.

Tabela 18. Classes de uso e cobertura da terra dentro das áreas de preservação permanente.

Classes de uso da terra	2007/2008		2012/2015	
	Área (ha)	% APP	Área (ha)	% APP
Açude/Lago	---	---	2,29	0,25
Afloramento rochoso	33,10	3,57	39,94	4,31
Área edificada	0,18	0,02	3,51	0,38
Brejo	3,08	0,33	9,59	1,03
Café	7,48	0,81	8,20	0,88
Campo sujo	22,95	2,47	80,13	8,64
Coco da bahia	0,46	0,05	---	---
Cultivos permanentes	1,28	0,14	---	---
Cultivos temporários	8,49	0,92	---	---
Estrada não pavimentada	18,12	1,95	15,20	1,64
Estrada pavimentada	0,20	0,02	0,97	0,11
Eucalipto	---	---	1,54	0,17
Massa d'água	6,25	0,67	---	---
Mata nativa	55,77	6,01	81,85	8,82
Mata nativa em estágio inicial	49,00	5,28	27,60	2,98
Pastagem	719,71	77,60	652,59	70,36
Solo exposto	1,46	0,16	4,12	0,44
Total	927,52	100,00	927,52	100,00

Verifica-se na Tabela 18 e conforme mostrado na Figura 16a, dentro das APP apenas 104,77 ha ou 11,29% destas áreas encontravam-se realmente preservadas antes da implantação da PCH. Desta forma, 88,71% das APP estavam sendo utilizadas de forma inadequada para o cultivo agropecuário.

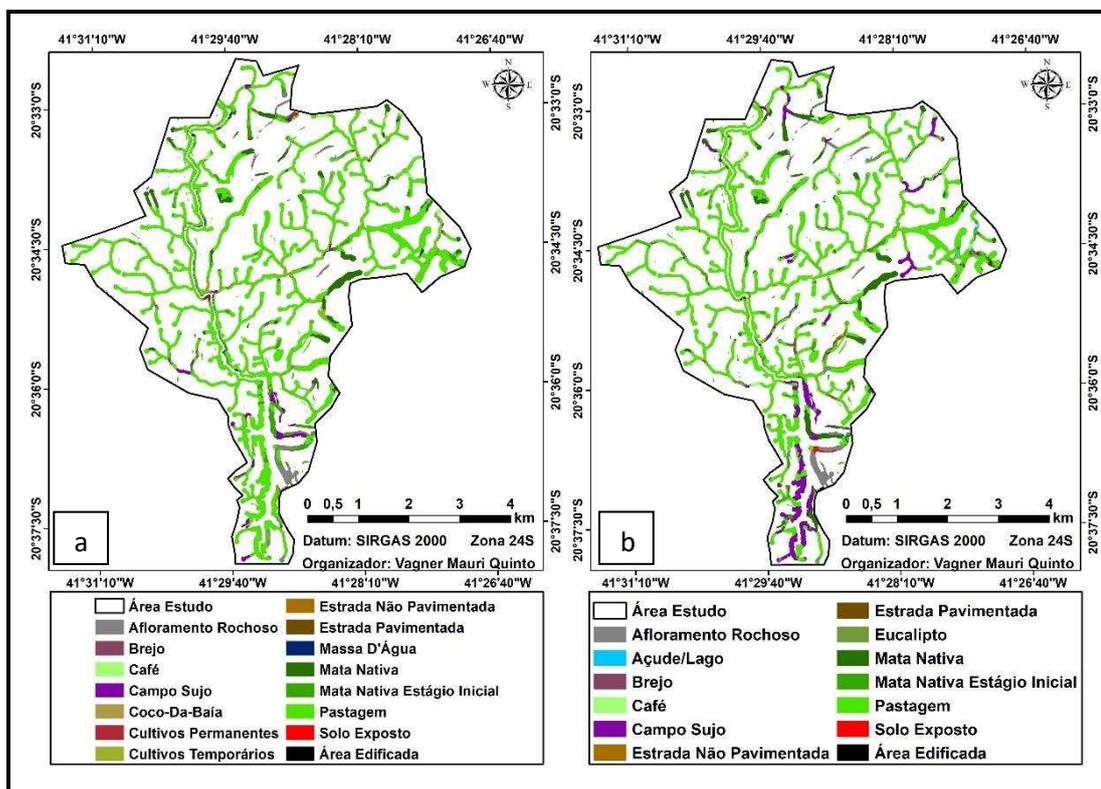


Figura 16. Mapa temático de uso e cobertura da terra durante o período 2007/2008 (a) e 2012/2015 (b) dentro das classes de APP.

Para o período posterior à implementação da PCH, observa-se na Tabela 17 e na Figura 16b, que o cenário de preservação das APP manteve-se praticamente inalterado.

Em apenas 109,45 ha ou 11,80% (Tabela 18) das APP encontram-se preservadas após a implantação da PCH. Ou seja, uma diferença insignificante de 4,68 ha ou 0,39% das APP perante o período anterior à implementação da atividade hidrelétrica. Esses dados demonstram a necessidade de estudos como esse para que se possa cobrar dos produtores e empresários a preservação das áreas protegidas por lei.

Desta forma, 818,08 ha ou 88,20% das APP estão sendo utilizadas de forma inadequada, não respeitando a legislação ambiental vigente. De acordo com o artigo

5º da Lei 12.651/2012, é obrigatório ao empreendedor de reservatório artificial de água com fins de produção de energia, adquirir, desapropriar ou instituir servidão administrativa na faixa de 30 a 100 m quando localizada em zona rural, no entorno do reservatório por serem áreas de preservação permanente.

Somente a área de pastagem corresponde a 652,59 ha ou 70,36% (Tabela 18) que tornam as áreas protegidas por lei totalmente vulneráveis a processos erosivos, tendo em vista que a atividade pecuária desenvolvida na região é extensiva e sem o uso de práticas conservacionistas do solo e da água.

As áreas de campo sujo quando interpretadas dentro das APP podem ser vistas como sinal positivo, pois pela legislação não podem ser manejadas e desta forma com a evolução natural se tornarão capoeira e mata nativa secundária. Porém, essa área ainda é pouco representativa quando comparado a necessidade de recuperação das APP da bacia, pois correspondem a 90,13 ha ou 8,64% (Tabela 18).

Apesar de a área de solo exposto ser muito pequena e quase inexpressiva dentro das APP, essas devem ser analisadas com atenção, pois representam as áreas com a maior susceptibilidade existente a processos erosivos. Quando comparado os dois períodos de estudo, observa-se aumento de 2,66 ha ou 0,28% (Tabela 18) dessa classe dentro das APP.

O solo exposto é o último estágio no ciclo de cultivo agropecuário, onde normalmente após a eliminação das matas são implementadas culturas como café, seguidas da pastagem para a pecuária e posteriormente o plantio de eucalipto. Desta forma, após o solo ter sido exaurido e apresentar baixa capacidade produtiva e alto custo de recuperação da sua fertilidade, normalmente são abandonados e sofrem processos de erosão laminar, em sulco e voçorocas, bem como o solapamento quando encontrados em curvas de cursos d'água.

4.4. PERDAS DE SOLO

Os valores da erosividade anual variaram de 4.422,63 a 8.517,53 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para o estado do Espírito Santo e de 7.121,83 a 7.425,79 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para a bacia hidrográfica em estudo (Figuras 17a e 17b, respectivamente).

Esses valores são semelhantes aos obtidos por Quinto (2013), Saito et al. (2009) e Silva et al. (2010).

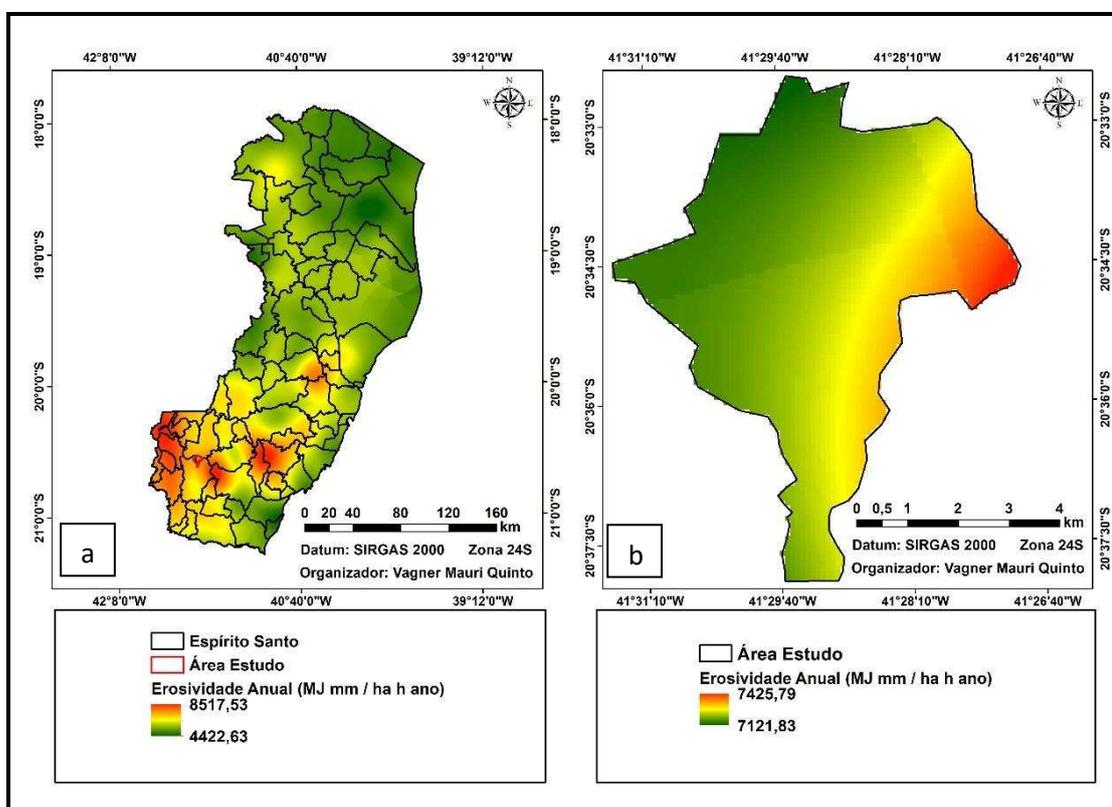


Figura 17. Mapa temático da erosividade anual para o estado do Espírito Santo (a) e da bacia hidrográfica da PCH São Simão (b).

Para o estado do Espírito Santo observa-se predominância dos maiores valores de erosividade anual entre as regiões Sul a Oeste com destaque para o Sudoeste, enquanto na bacia os maiores valores são encontrados entre as regiões Nordeste e Sudeste, com destaque para a região Leste (Figuras 17a e 17b, respectivamente).

Observa-se na Figura 17, os valores de erosividade anual obtidos para a bacia estão entre os mais altos do estado. Esses dados indicam que a área de estudo é propensa a sofrer processos erosivos, portanto, esses locais necessitam de manejo específico para preservação do solo e da água.

Após a reclassificação da erosividade anual conforme Silva (2004), identificou-se que a bacia na sua quase totalidade (96,50%) apresenta valores de erosividade de médio a forte (Tabela 19 e Figura 18). Não existe na área de estudo nenhum local com erosividade anual baixa, média ou muito forte (Tabela 18).

A classificação dos valores da erosividade anual como médio a forte e forte (Figura 18), evidencia a necessidade de preservação das APP, pois a bacia se encontra em uma região de declividade acentuada. Sem a existência das APP e com a erosividade forte, é inevitável a ocorrência de processos erosivos e por sua consequência o aporte de sedimentos, fertilizantes e agrotóxicos nos cursos d'água.

Tabela 19. Identificação das classes de erosividade anual.

Classe	Nº pixel	Área (ha)	% bacia
Baixa	0	0	0,00
Média	0	0	0,00
Média a forte	339.581	3.395,81	96,50
Forte	12.300	123,00	3,50
Muito Forte	0	0	0,00
Total	351.881	3.518,81	100,00

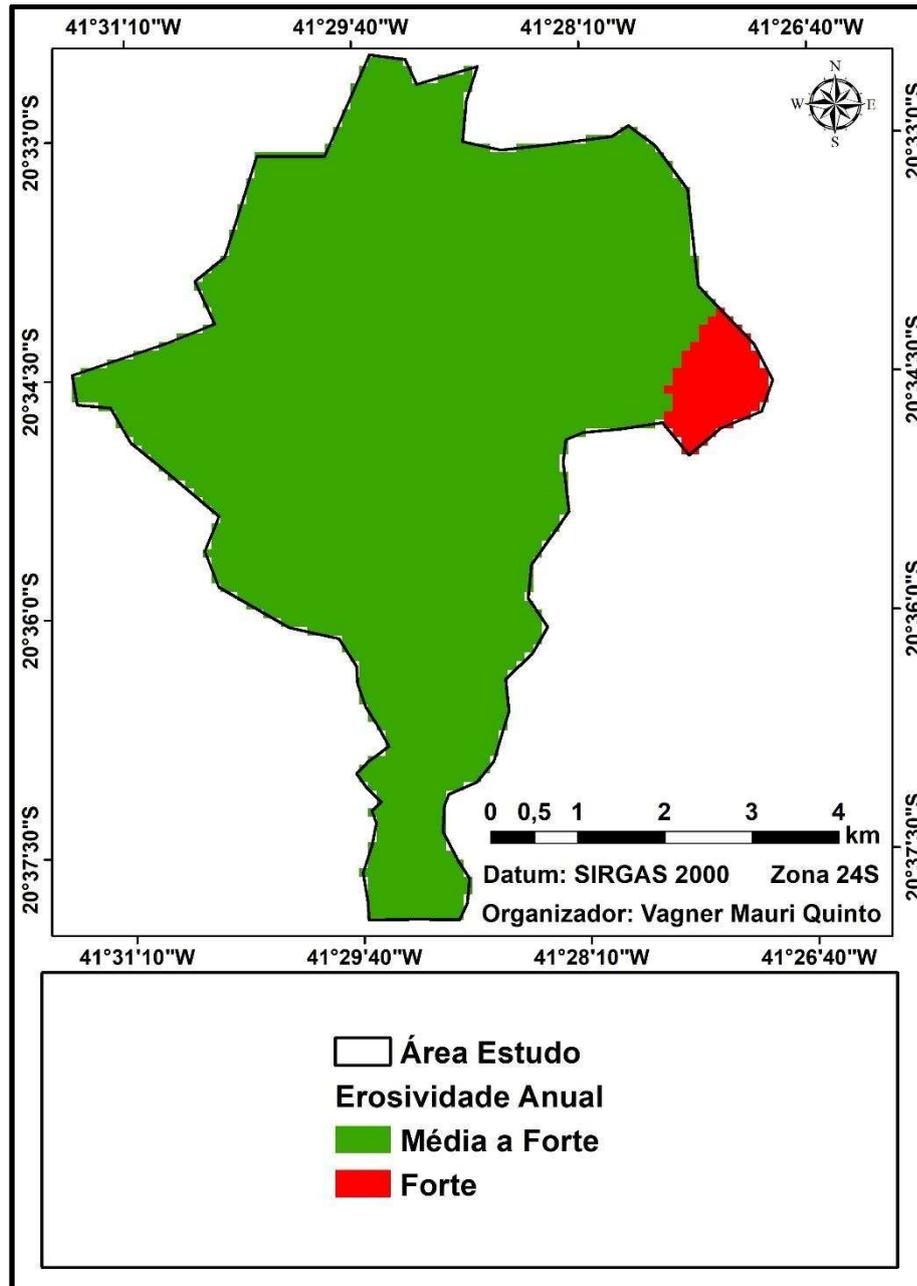


Figura 18. Mapa temático da erosividade anual reclassificada.

Observa-se na Figura 19 as classes de solo presentes na bacia com predominância de Argissolos Vermelho-Amarelo e a espacialização do fator de erodibilidade.

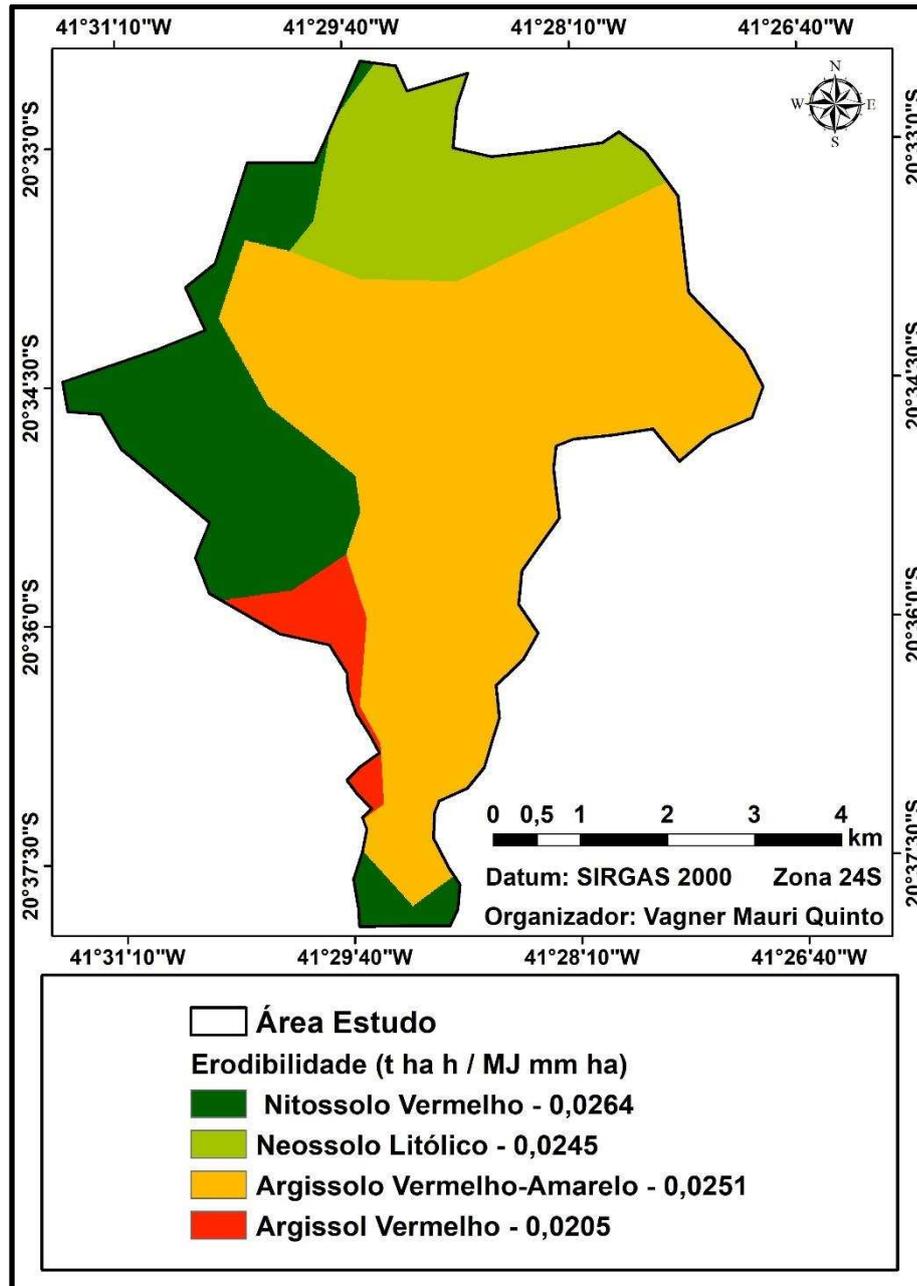


Figura 19. Mapa temático das classes de solo e sua erodibilidade.

Os valores de K obtidos para as classes de solo da bacia em estudo, são semelhantes à média obtida por alguns pesquisadores, conforme Tabela 4. A classe de Nitossolo vermelho é que apresentou o maior valor de K, e por estar localizada logo a jusante da PCH necessita de manejo adequado para reduzir os efeitos dos processos de erosão hídrica, pois, no período das chuvas pode ocorrer aumento no volume de água e conseqüentemente abertura das comportas e elevação do nível do curso d'água.

A combinação dos fatores de comprimento de rampa e grau de declividade resulta no fator topográfico, sendo este o responsável por determinar a velocidade de escoamento superficial. Segundo Tomazoni et al. (2005) este fator é o responsável por determinar o tamanho e a quantidade de material erodido.

O fator topográfico apresentou valores variando de 0,0805 a 24,6911 (Figura 20a). Após a reclassificação do fator LS (Figura 20b) conforme proposto por Tomazoni et al. (2005), identificou-se que 99,97% da bacia (Tabela 20) possui valor igual ou menor a 20. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Tomazoni et al. (2005) estudando a sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Anta Gorda (PR).

Tabela 20. Identificação das classes do fator topográfico

Classe	Nº pixel	Área (ha)	% bacia
0 – 3,3	331453	3314,53	94,20
3,3 – 7,5	13929	139,29	3,96
7,5 – 20	6365	63,65	1,81
>20	102	1,02	0,03
Total	351849	3518,49	100,00

Segundo Tomazoni et al. (2005) o fator LS exerce influência direta no processo erosivo. Contudo, por apresentar apenas 0,03% da bacia com valores superiores a 20, este fator não é o principal agente causador de erosão na bacia.

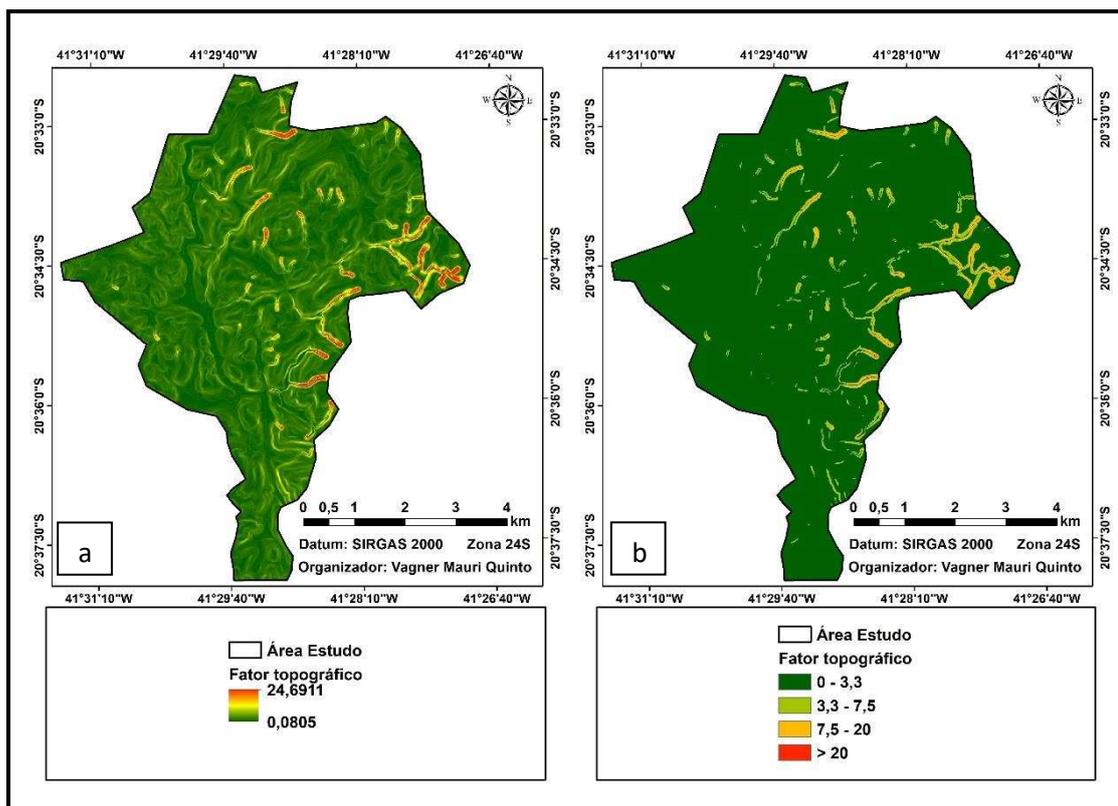


Figura 20. Mapa temático do fator topográfico (a) e fator topográfico reclassificado (b).

A combinação dos fatores de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos e fator topográfico resulta na identificação do potencial natural de erosão da área. O PNE representa a máxima perda de solo que poderá ocorrer em um local se este for mantido sem cobertura vegetal e práticas conservacionistas.

Os valores do PNE obtidos para bacia em estudo, bem como a sua espacialização, podem ser observados na Figura 21a.

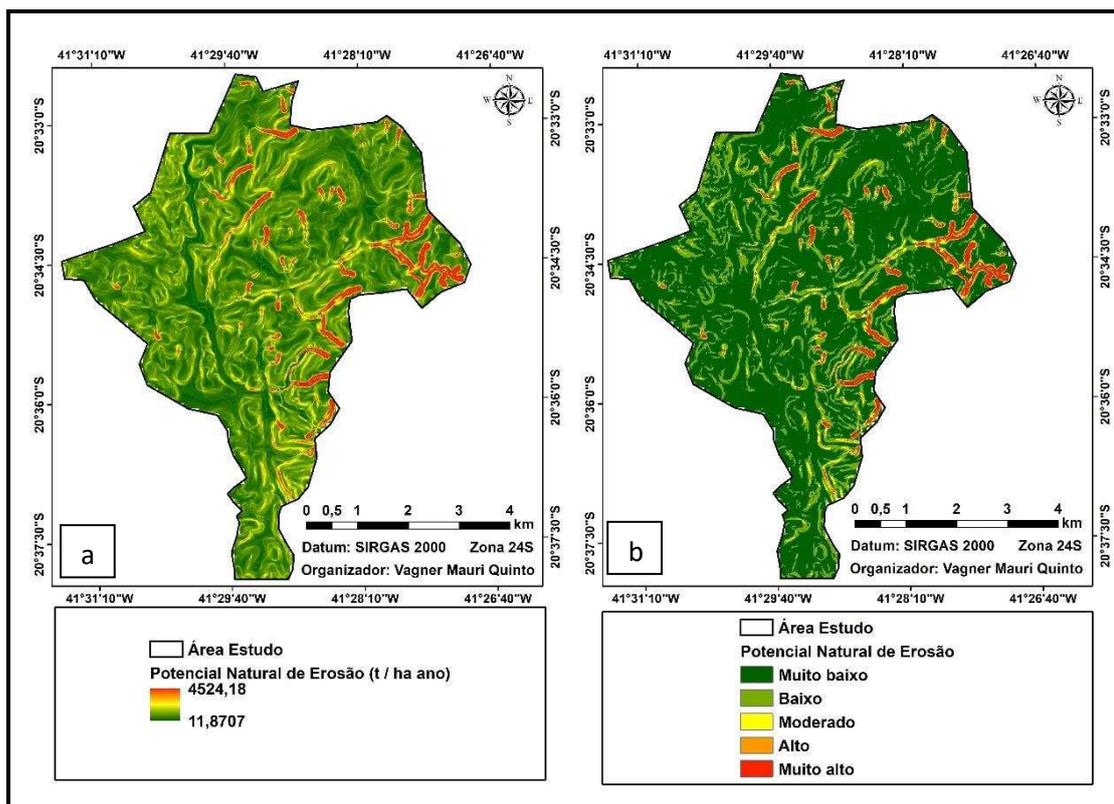


Figura 21. Mapa temático do potencial natural de erosão (a) e potencial natural de erosão reclassificado (b).

O potencial natural de erosão variou de 11,87 a 4.524,18 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 21a). A amplitude entre esses valores obtidos para a área de estudo é um forte indicador de necessidade de manejo específico em determinados locais.

Verifica-se na Tabela 21 e na Figura 21b, a maior parte da bacia (92,59%) apresenta um valor de PNE de muito baixo a baixo, o que comprova que a mesma pode ser utilizada por um período prolongado para a produção de energia elétrica sendo sustentável, desde que sejam preservadas as APP e empregadas técnicas adequadas de manejo e conservação do uso do solo e da água.

Em 7,41% da bacia, o PNE varia de moderado a muito alto (Tabela 21), indicando a necessidade da intervenção antrópica por meio da implantação de projetos de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas e manutenção das APP em locais específicos da bacia hidrográfica da PCH.

Tabela 21. Identificação das classes do potencial natural de erosão.

Classes	Nº pixel	Área (ha)	% bacia
Muito baixo	254365	2543,65	72,28
Baixo	71456	714,56	20,31
Moderado	10505	105,05	2,99
Alto	4846	48,46	1,38
Muito alto	10708	107,08	3,04
Total	351.881	3518,81	100,00

De posse do mapa temático do potencial natural de erosão da bacia combinou-se o mesmo com os mapas do fator de cobertura e manejo do solo e o de práticas conservacionistas, obtendo-se os valores e a espacialização da perda de solo dentro da bacia para o período pré (2007/2008) e pós (2012/2015) implantação da PCH (Figuras 22a e 22b, respectivamente).

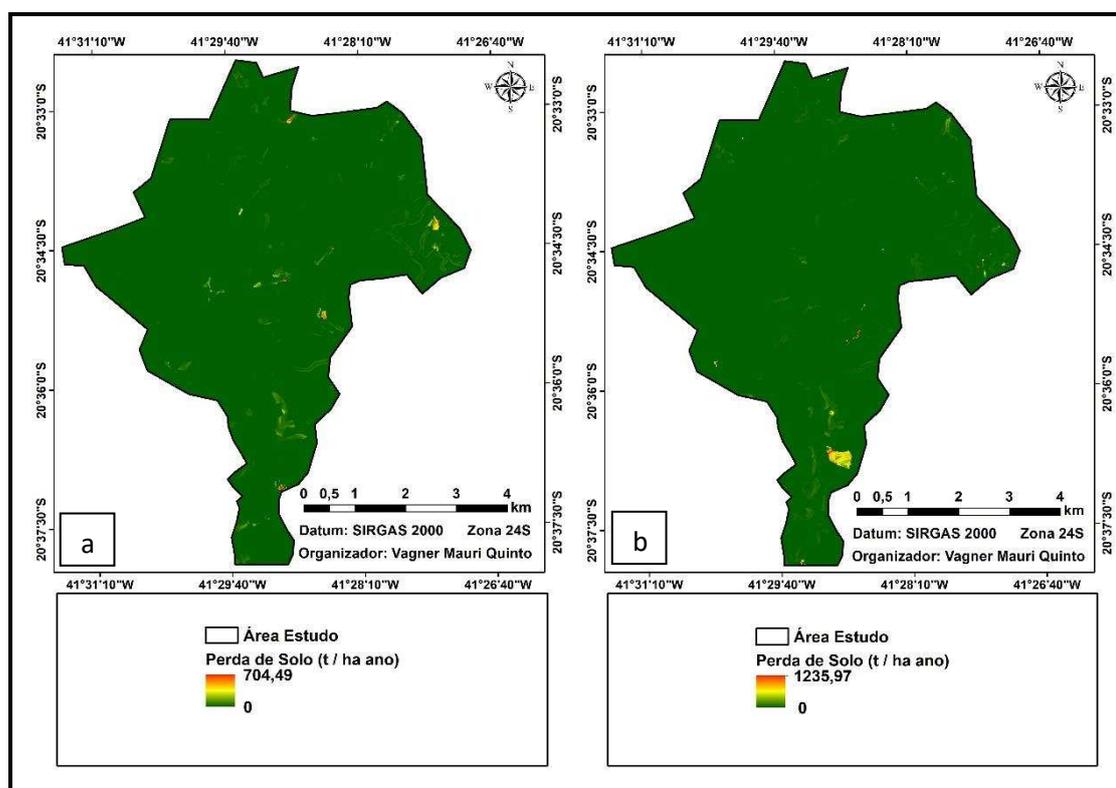


Figura 22. Mapa temático da perda de solo para a bacia hidrográfica da PCH no período 2007/2008 (a) e 2012/2015 (b).

Os valores da perda de solo variaram de 0 a 704,49 t ha⁻¹ ano⁻¹ antes da implantação da PCH e de 0 a 1.235,97 t ha⁻¹ ano⁻¹ após a implantação da PCH (Figuras 22a e 22b, respectivamente). Analisando os mapas temáticos da perda de solo para os dois períodos em estudo nas Figuras 22a e 22b, é possível observar que foram poucas ou quase nenhuma as alterações na perda de solo da bacia. Ou seja, apesar do aumento da área alagada que não sofre processo erosivo e da área de mata nativa que produz a menor taxa de perda de solo no período pós-implantação da PCH, o aumento da área de solo exposto ocasionou elevação do valor de perda de solo na área de estudo, demonstrando a importância da manutenção da cobertura vegetal do mesmo.

Apesar dos valores elevados da perda de solo na bacia, quando comparado com o potencial natural de erosão da área (Tabela 21) verifica-se que houve redução nestes valores. Desta forma, fica comprovado a necessidade de cobertura do solo e manutenção das APP.

Para recuperação das áreas com valores alto e muito alto de perda de solo, pode-se utilizar como referência as áreas vizinhas com valores baixo e muito baixo, tendo em vista que elas representam 96,63% da bacia (Tabela 22). Desta forma, é possível aproveitar as plantas destas regiões para retirada de mudas, propagações vegetativas ou sementes possibilitando a recuperação destas áreas sem proporcionar alteração no bioma da região.

Tabela 22. Identificação das classes de perda de solo.

Classes	2007/2008		2012/2015	
	Área (ha)	% bacia	Área (ha)	% bacia
Muito baixa	3.348,66	95,16	3.276,95	93,14
Baixa	92,68	2,63	122,94	3,49
Moderada	59,09	1,68	93,98	2,67
Alta	10,39	0,30	7,19	0,20
Muito alta	7,99	0,23	17,75	0,50
Total	3.518,81	100,00	3.518,81	100,00

Verifica-se que são poucas as alterações no cenário da perda de solo dentro da bacia, contudo, nota-se que no entorno da barragem e a jusante da

mesma, ocorreu aumento na área das classes de perda de solo alta e muito alta, podendo estar relacionado a locais de solo exposto em função das obras realizadas.

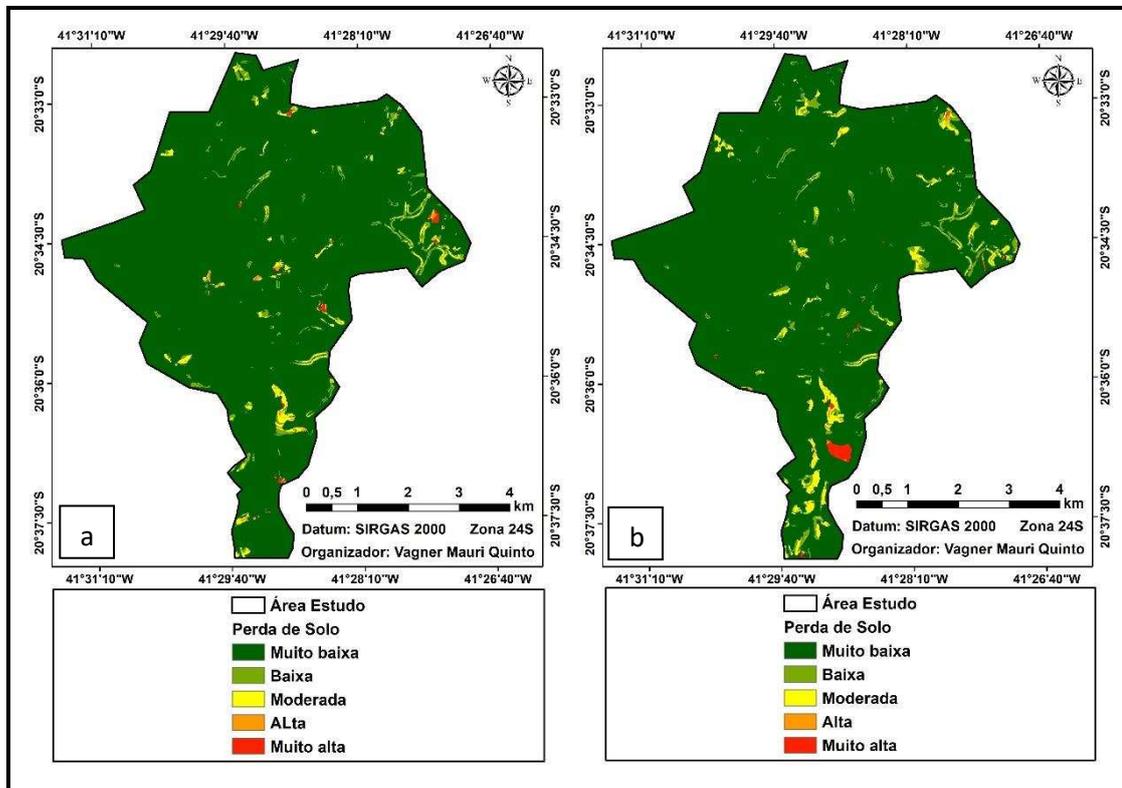


Figura 23. Mapa temático da perda de solo reclassificada para a bacia no período pré (a) e pós (b) implantação da PCH.

Apesar de a pastagem ter ajudado na redução da perda de solo quando comparado ao potencial natural de erosão da bacia, é possível se observar que esta é a segunda classe de maiores valores de perda de solo chegando a $43,27 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 24b), seguida das classes de mata nativa em estágio inicial de regeneração com perda máxima de $10,11 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 24c) e mata nativa com perda máxima de $1,80 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 24d). A classe de solo exposto com perda máxima de $1.302,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 24a) é que produziu o maior volume de solo erodido.

A pastagem apresenta efeito na redução da perda de solo, mas devido às pastagens da região apresentarem superpastejo o seu efeito se torna menos eficaz. Desta forma, a proteção das APP e a sua recuperação são importantes para a contenção dos solos erodidos das áreas de pastagem.

Uma alternativa viável aos pecuaristas é a adoção dos sistemas agroflorestais (SAFs) proporcionando o consórcio da pastagem com florestas plantadas, podendo ainda ser incrementadas com a aplicação de técnicas de conservação do solo e da água como terraceamento, cultivo em nível e cobertura morta do solo.

Os maiores valores de perda de solo obtido para os locais de solo exposto já eram esperados, pois, o solo estando descoberto não apresenta nenhuma forma de redução da velocidade de contato das gotas da chuva com ele. Após o contato entre ambos ocorre a erosão de embate proporcionando a desagregação das partículas do solo e o seu carreamento para os cursos d'água ou locais de relevo convexo pela erosão laminar, que devido à falta de cobertura do solo não possui resistência.

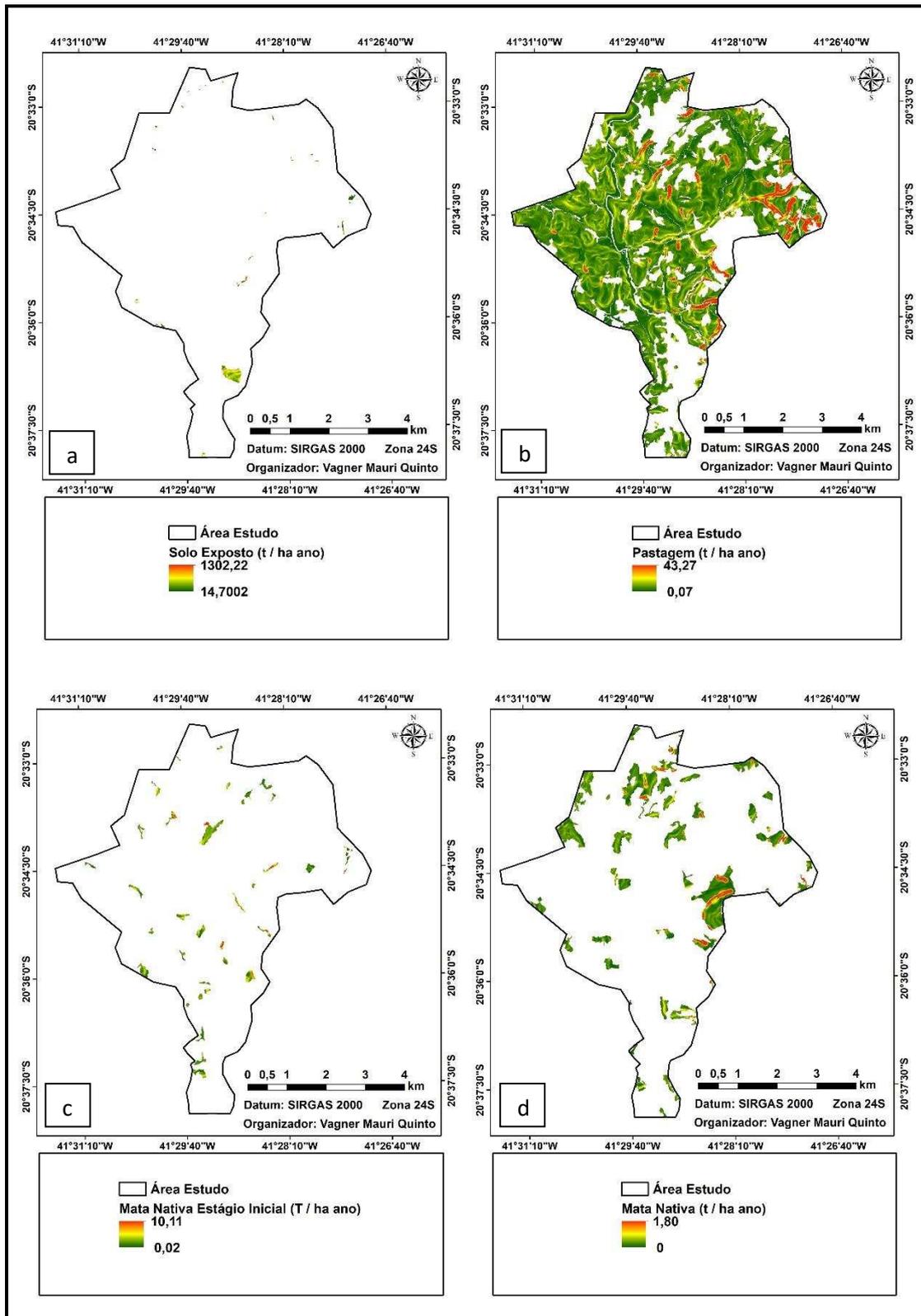


Figura 24. Mapa temático da perda de solo dentro da bacia pós-implantação da PCH para as classes de solo exposto (a), pastagem (b), mata nativa em estágio inicial de regeneração (c) e mata nativa (d).

Se comparados dentro da bacia, o valor máximo da perda de solo obtido na área de mata nativa corresponde a apenas 4,16% do valor máximo obtido na classe de pastagem, enquanto na área de mata nativa em estágio inicial de regeneração este valor é de 23,36% (Figura 24).

A perda de solo obtida para área de pastagem é semelhante aos resultados obtidos por Bono et al. (1996), Domingos (2006), Pires et al. (2006) e Quinto (2013). Mas, a predominância da classe de pastagem em 69,74% da bacia (Tabela 15) indica que esse sistema produtivo deve ser adequadamente manejado para manutenção dos recursos naturais, pois, são pequenas e esparsas as áreas de mata nativa, o que facilita a chegada dos solos erodidos das pastagens até os cursos d'água por não haver barreira física de contenção nas margens dos rios.

Os menores valores de perda de solo obtidos para a classe de mata nativa, corroboram com os resultados obtidos por Martins et al. (2003) estudando a perda de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz, ES.

Para efeito comparativo da influência do fator de cobertura e manejo sobre os valores de perda de solo obtidos na bacia pós-implantação das PCH, selecionaram as classes de uso da terra de solo exposto, pastagem, mata nativa em estágio inicial e mata nativa e o resultado da reclassificação das mesmas pode ser observado na Tabela 23 e na Figura 25.

A classe de solo exposto é a que apresentou os maiores valores de perda de solo na bacia (Figura 24a), e após a sua reclassificação ficou evidente a necessidade de se evitar que o solo fique sem nenhum tipo de cobertura vegetal, pois 88,24% dessa classe (Tabela 23, Figura 25a) apresenta perda de solo variando de alta a muito alta. O valor de 0% e 3,26% observa-se perda de solo muito baixa e baixa, respectivamente, indicam que a ausência de cobertura da terra deve ser evitada, pois facilita a ocorrência de erosão.

Comparando apenas as classes de solo exposto e de pastagem, é possível observar efeito positivo da pastagem na redução da perda de solo, pois em 95,10% desta classe a perda de solo é classificada como muito baixa.

Tabela 23. Identificação das classes de perda de solo reclassificada.

Classes de perda de solo	Classes de uso da terra							
	SE		PAST		MNI		MN	
	Área (ha)	% classe	Área (ha)	% classe	Área (ha)	% classe	Área (ha)	% classe
Muito baixa	0,00	0,00	2.333,81	95,10	77,21	99,99	404,24	100,00
Baixa	0,69	3,26	0,52	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
Moderada	1,81	8,50	19,06	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
Alta	1,92	8,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Muito alta	16,90	79,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	21,32	100,00	2401,30	100,00	77,22	100,00	404,24	100,00

SE: solo exposto; PAST: pastagem; MNI: mata em nativa estágio inicial; MN: mata nativa.

As classes de mata nativa e mata nativa em estágio inicial de regeneração apresentam capacidade de preservação e manutenção da qualidade do solo, devido à sua eficiência na redução da perda do mesmo. Em 100,00% da área coberta por mata nativa a perda de solo foi classificada como muito baixa, enquanto nos locais cobertos por mata nativa em estágio inicial de regeneração 99,99% apresentaram valores muito baixos. Observa-se que na área vegetada por mata nativa em estágio inicial de regeneração a perda de solo é muito baixa em quase sua totalidade, enquanto para a mata nativa a sua totalidade é de muito baixa perda de solo (Tabela 23, Figuras 25c e 25d, respectivamente).

Esses resultados comprovam a necessidade de se manter em especial as APP cobertas por espécies arbóreas para se evitar os processos erosivos nessas áreas, conter a perda de solo das regiões a montante e se evitar o assoreamento de cursos d'água e barragens naturais ou artificiais, bem como reduzir a contaminação dos rios por agrotóxicos e a sua eutrofização pelo aporte de nutrientes.

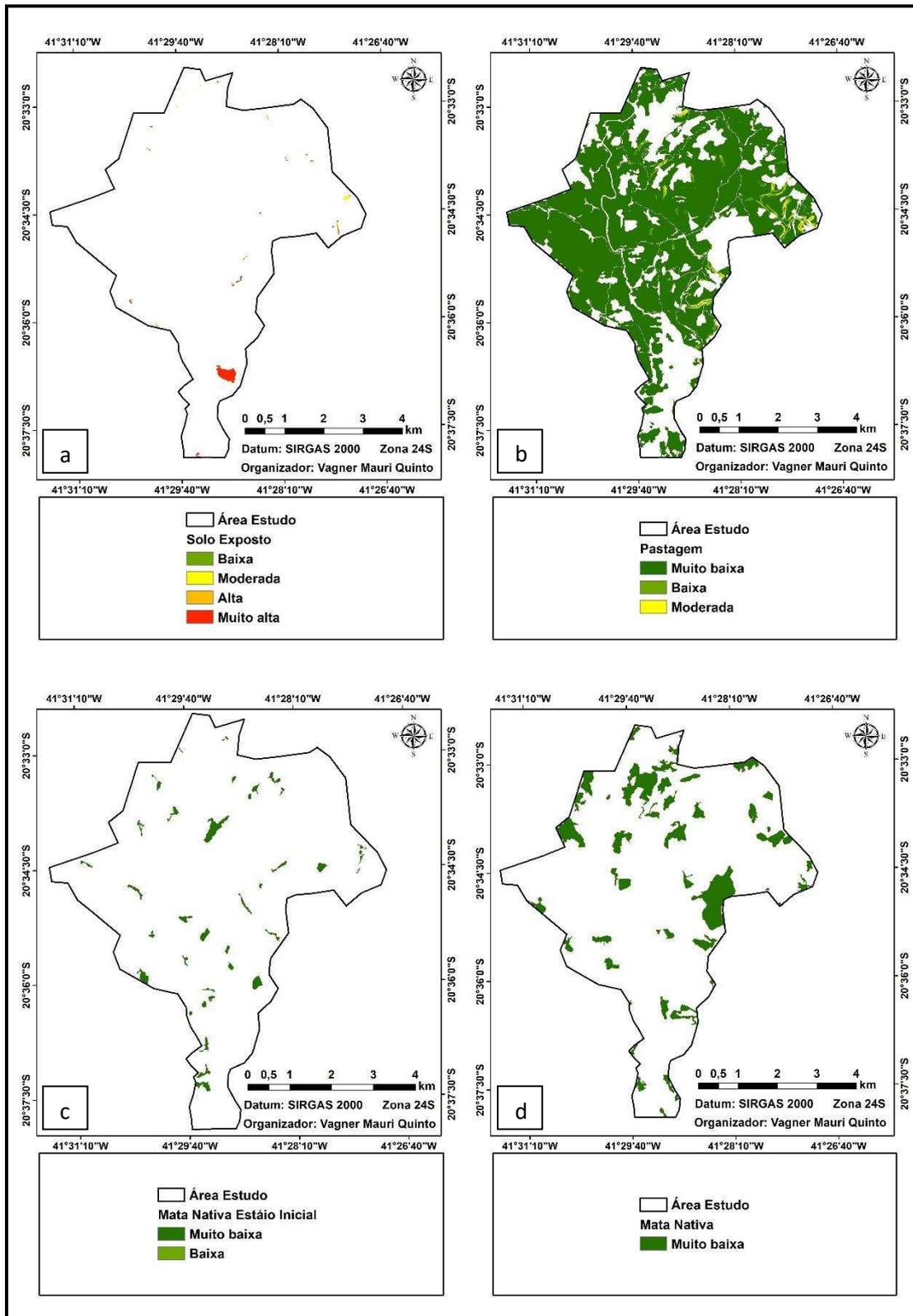


Figura 25. Mapa temático da perda de solo reclassificada dentro da bacia pós-implantação da PCH para as classes de solo exposto (a), pastagem (b), mata nativa em estágio inicial de regeneração (c) e mata nativa (d).

4.5. PERDA DE SOLO DENTRO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

A predominância das classes de perda de solo de muito baixa e baixa dentro das APP da bacia hidrográfica da PCH São Simão pode ser observada na Figura 26.

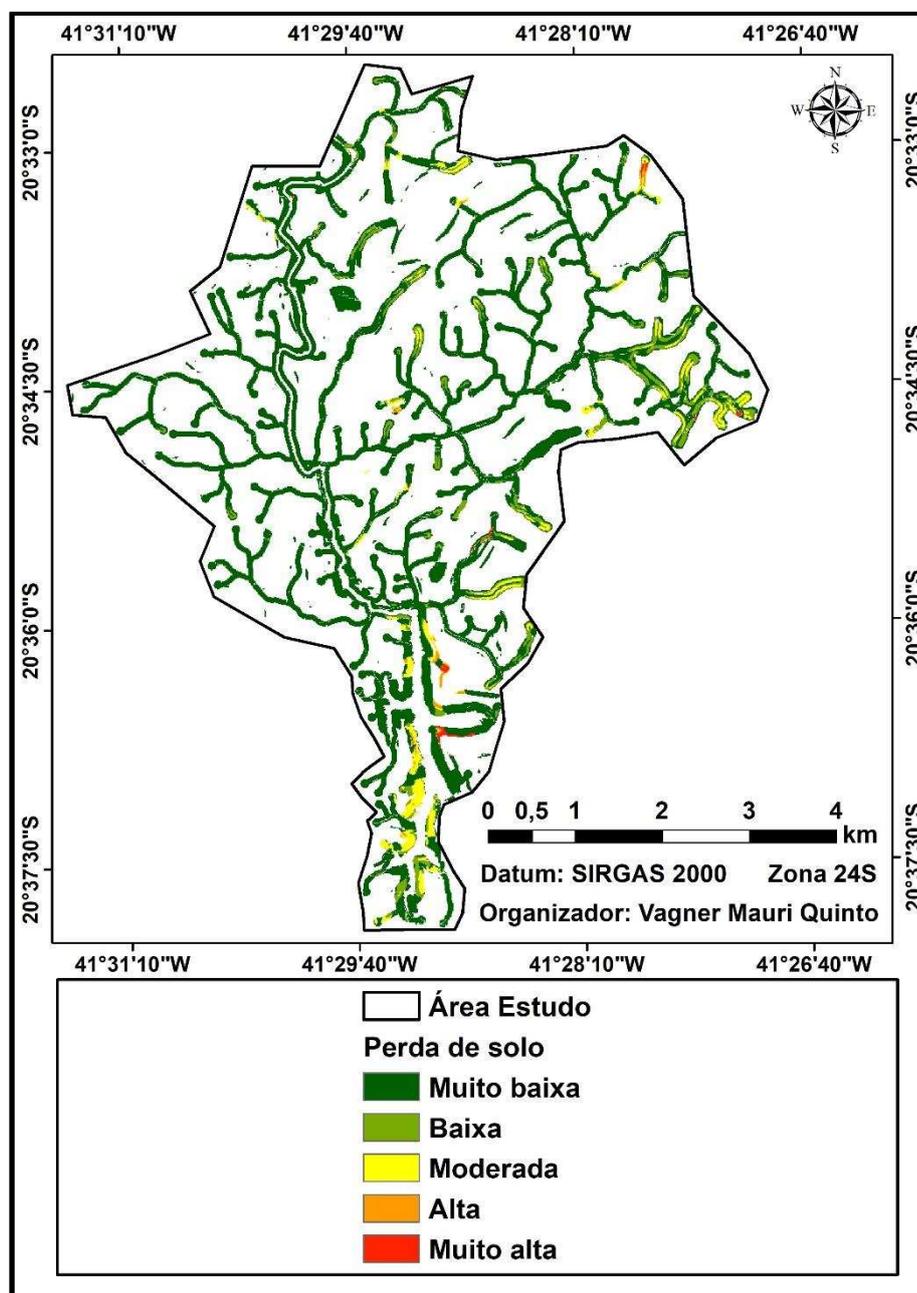


Figura 26. Mapa temático da perda de solo reclassificada dentro das áreas de preservação permanente pós-implantação da PCH.

Observa-se que as classes de moderada e muito alta perda de solo encontram-se localizadas na região Sul e Leste da bacia (Figura 26). Os valores

mais elevados na região Leste podem estar relacionados com a erosividade nesse local, pois, é onde se encontram os maiores valores deste fator. Quanto à região Sul, estes valores mais elevados de perda de solo podem estar relacionados com a classe de Argissolo vermelho-amarelo, pois é a classe que possui o segundo valor mais elevado de erodibilidade.

Em 6,80% das áreas de preservação permanente da bacia (Tabela 24), a perda de solo atingiu valores superiores a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹, indicando a necessidade de reflorestamento dessas áreas.

Tabela 24. Identificação das classes de perda de solo reclassificada nas áreas de preservação permanente.

Classes	2012/2015	
	Área (ha)	% microbacia
Muito baixa	785,58	84,70
Baixa	78,84	8,50
Moderada	52,96	5,70
Alta	5,73	0,62
Muito alta	4,41	0,48
Total	927,52	100,00

As classes de perda de solo muito baixa e baixa estão presentes em 93,20% das APP (Tabela 23), indicando que há uma pequena produção de sedimentos nesses locais, contudo, 70,36% das APP são recobertas por pastagem (Tabela 18) indicando que essas áreas devem ser reflorestadas com espécies arbóreas, pois, estarão sendo utilizadas de forma errada para o cultivo agrícola, segundo o novo código florestal e não estão conseguindo desenvolver seus papéis de contenção de solos erodidos a montante.

Os maiores valores de perda de solo foram obtidos para a classe de APP de cursos d'água com 1.235,77 t ha⁻¹ ano⁻¹ seguida pela classe de declividade com 1.168,78 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Figuras 27b e 27c, respectivamente). A classe de nascentes apresentou valor máximo de 240,70 t ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto as APP de topo de morro foram as que apresentaram os valores mais baixos com máximo de 4,20 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Figuras 27a e 27d, respectivamente).

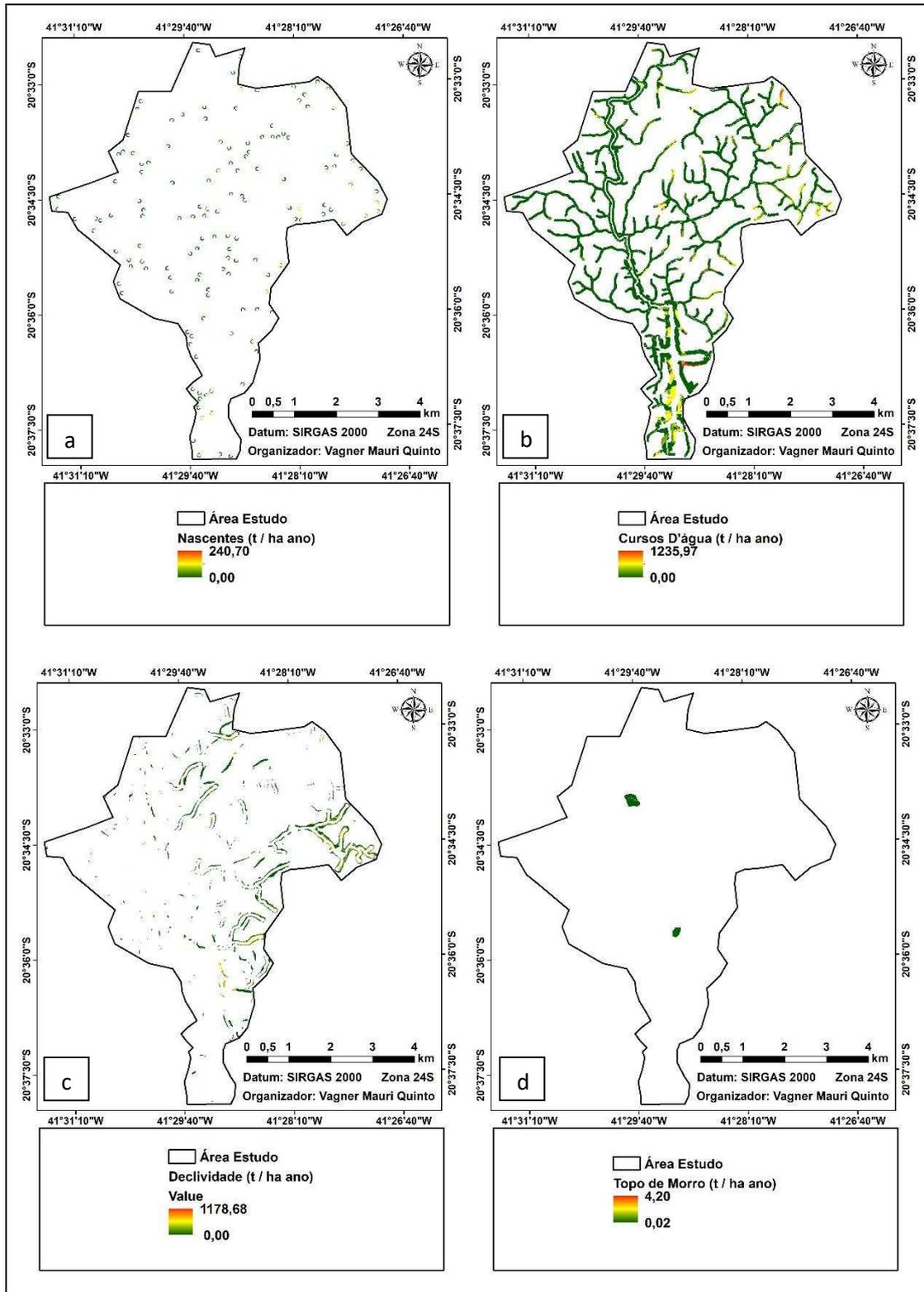


Figura 27. Mapa temático da perda de solo pós-implantação da PCH dentro das classes de nascentes (a), cursos d'água (b), declividade (c) e topo de morro (d).

Devido aos novos limites das APP de topo de morro apresentados pelo código florestal vigente, essas áreas se tornaram tão restritas que dificultam o

acesso do ser humano e por consequência o seu uso. Contudo, as áreas de topo de morro que deveriam ser preservadas segundo a Lei 4.771/65 eram maiores do que a atual.

4.6. ÍNDICE DE NECESSIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DESMATADA OU DEGRADADA

Após a determinação do INRAD o mesmo foi reclassificado conforme a Tabela 14 e a identificação das classes de necessidade de recuperação e a sua espacialização, estão na Tabela 25 e na Figura 28, respectivamente.

Tabela 25. Identificação das classes do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas na bacia hidrográfica da PCH São Simão.

Classes	Área (ha)	% bacia
Muito baixo	2.544,70	72,32
Baixo	160,63	4,56
Moderado	4,17	0,12
Alto	792,37	22,52
Muito alto	16,94	0,48
Total	3518,81	100,00

Dentro da bacia em estudo, em 76,88% da mesma (Tabela 25) o INRAD variou de muito baixo a baixo, indicando que a intervenção antrópica nessas classes não se faz necessária. A predominância dessas classes são observadas na Figura 28.

Observa-se que em 23,00% da bacia (Tabela 25) a intervenção antrópica com projetos de recuperação é totalmente necessária, tendo em vista que o INRAD para esses locais variou de alto a muito alto.

Esses resultados comprovam a confiabilidade do uso do modelo desenvolvido para a identificação das áreas que necessitam ser recuperadas, pois, considerando que na bacia deveria haver 927,52 ha preservados (Tabela 17) em locais determinados em conformidade com a Lei 12.651/12, e que atualmente existem 109,45 ha adequadamente preservados (Tabela 18), há um déficit de 818,07 ha,

valor esse próximo aos 809,31 ha que necessitam ser recuperados conforme o INRAD (Tabela 25), não ocasionando sub ou superestimação das áreas.

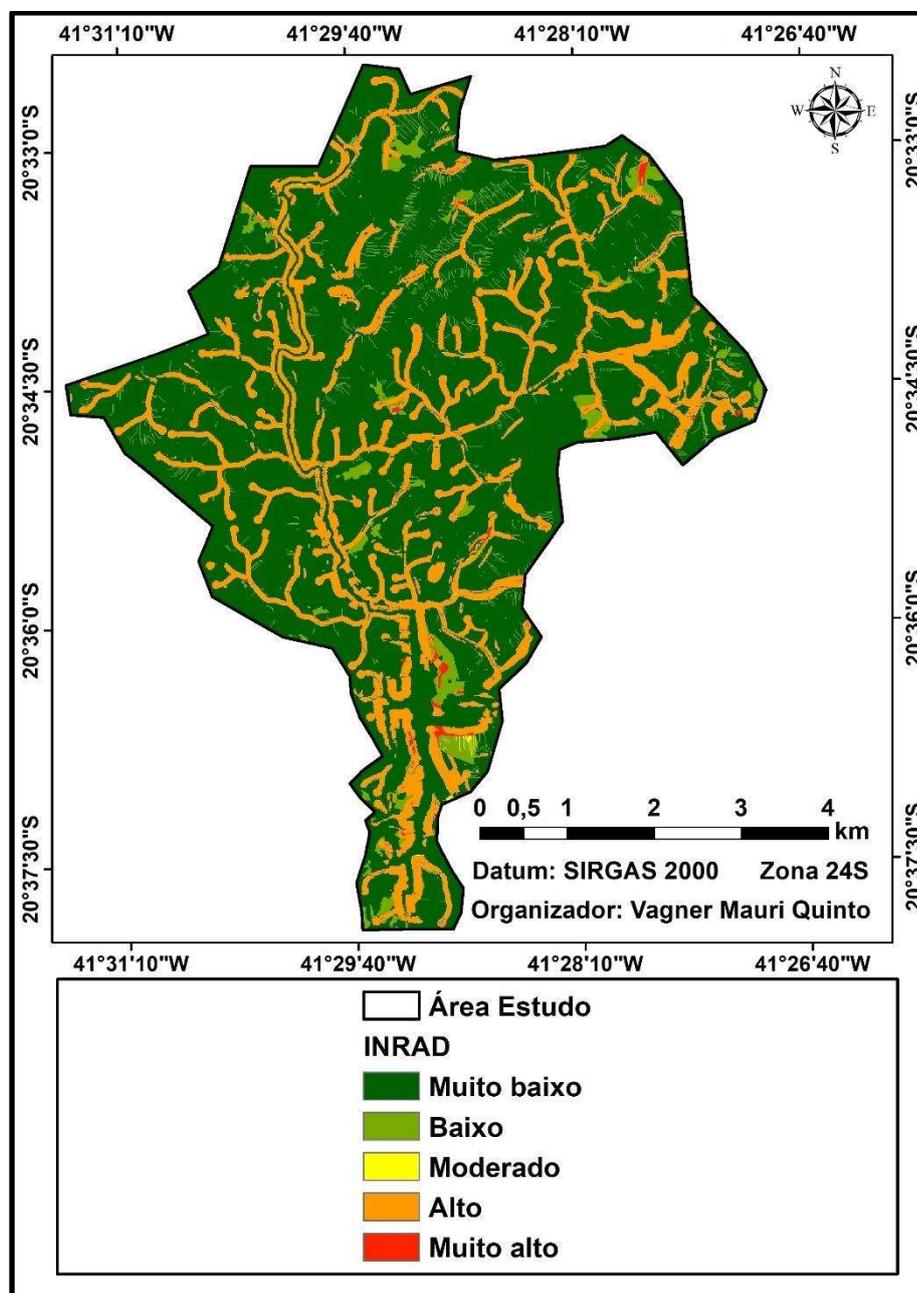


Figura 28. Mapa temático do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas na bacia da PCH São Simão.

A quantificação da área que necessita ser recuperada em conformidade com o INRAD de 809,31 ha, quando associado aos 404,24 ha de mata nativa e 77,22 ha de mata nativa em estágio inicial de regeneração (Tabela 15) existentes na bacia, resultaria em uma área florestada de 1.209,77 ha. Esse valor corresponderia a

36,68% de preservação da área de estudo, ou seja, seria atendida a demanda de APP e metade da demanda de reserva legal para o bioma da região, indicando confiabilidade no índice para quantificação das áreas a serem recuperadas.

O INRAD também se mostrou adequado conforme observado na Figura 28, com a correta exclusão das áreas de cursos d'água e matas nativas, indicando a não necessidade de recuperação nessas áreas.

Observando-se o mapa temático do INRAD (Figura 28) percebe-se que há similaridade entre as áreas com alta e muito alta necessidade de recuperação com as APP de nascentes e cursos d'água, indicando que o Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) pode não ter contemplado de forma adequada a preservação das áreas de declividade e topos de morro.

4.7. PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

Após a aplicação do modelo de RHPR por meio da simulação do aporte financeiro de R\$ 100.000,00 em parceria público-privado, foram obtidos os valores a serem pagos individualmente às 12 propriedades fictícias de 10 ha localizadas dentro da bacia hidrográfica da PCH São Simão.

Os devidos valores de cada propriedade de acordo o RHPR e a sua diferença caso não houvesse compensação por área preservada já existente podem ser observados na Tabela 26.

Em 6 das 12 propriedades não existe nenhuma área de preservação, e desta forma o proprietário só seria recompensado em função das áreas a serem implantadas. Nas demais 6 propriedades em que já existia área de preservação, a P11 foi quem apresentou o maior retorno com R\$ 171,15 por ano a mais do que se não existissem áreas preservadas. Contudo o maior valor a ser arrecadado seria na P1 (Tabela 26).

Os valores são pouco expressivos se comparado ao resultado da pecuária e desta forma seriam poucos os produtores que adotariam o programa de pagamento por serviços ambientais. Sendo assim, ou deveria haver redução na área de abrangência do programa de reflorestamento para se tornar atrativo ou deveria ocorrer um aporte financeiro maior por parte do setor privado.

Tabela 26. Simulação de valores do ressarcimento por hectare preservado ou a ser recuperado.

Propriedade	APP_R (ha)	APP_P (ha)	NAPP_P (ha)	RHPR (R\$/ano)	APP_R (ha)	APP_P (ha)	NAPP_P (ha)	RHPR (R\$/ano)	Diferença (R\$)
P1	4,8640	0,1055	0,0000	538,72	4,8640	0,0000	0,0000	524,39	14,33
P2	2,4168	0,0000	0,0000	260,56	2,4168	0,0000	0,0000	260,56	0,00
P3	3,9621	0,0000	0,0000	427,15	3,9621	0,0000	0,0000	427,15	0,00
P4	2,8636	0,0170	0,6902	393,34	2,8636	0,0000	0,0000	308,72	84,62
P5	4,5407	0,0000	0,0000	489,53	4,5407	0,0000	0,0000	489,53	0,00
P6	2,5715	0,0000	0,0000	277,24	2,5715	0,0000	0,0000	277,24	0,00
P7	3,4147	0,0000	0,0000	368,14	3,4147	0,0000	0,0000	368,14	0,00
P8	1,5223	0,0000	0,2526	194,24	1,5223	0,0000	0,0000	164,12	30,12
P9	3,5061	0,2312	0,3551	451,76	3,5061	0,0000	0,0000	377,99	73,76
P10	0,8746	0,0515	0,0000	101,28	0,8746	0,0000	0,0000	94,29	6,99
P11	0,1078	0,0000	1,4351	182,77	0,1078	0,0000	0,0000	11,62	171,15
P12	1,3644	0,0000	0,0000	147,10	1,3644	0,0000	0,0000	147,10	0,00

porém, o modelo se demonstrou adequado proporcionando um ressarcimento financeiro maior a produtores que já possuem áreas preservadas em suas propriedades.

A espacialização das propriedades, bem como a sua identificação e a visualização das classes do modelo de RHPR é apresentado na Figura 29.

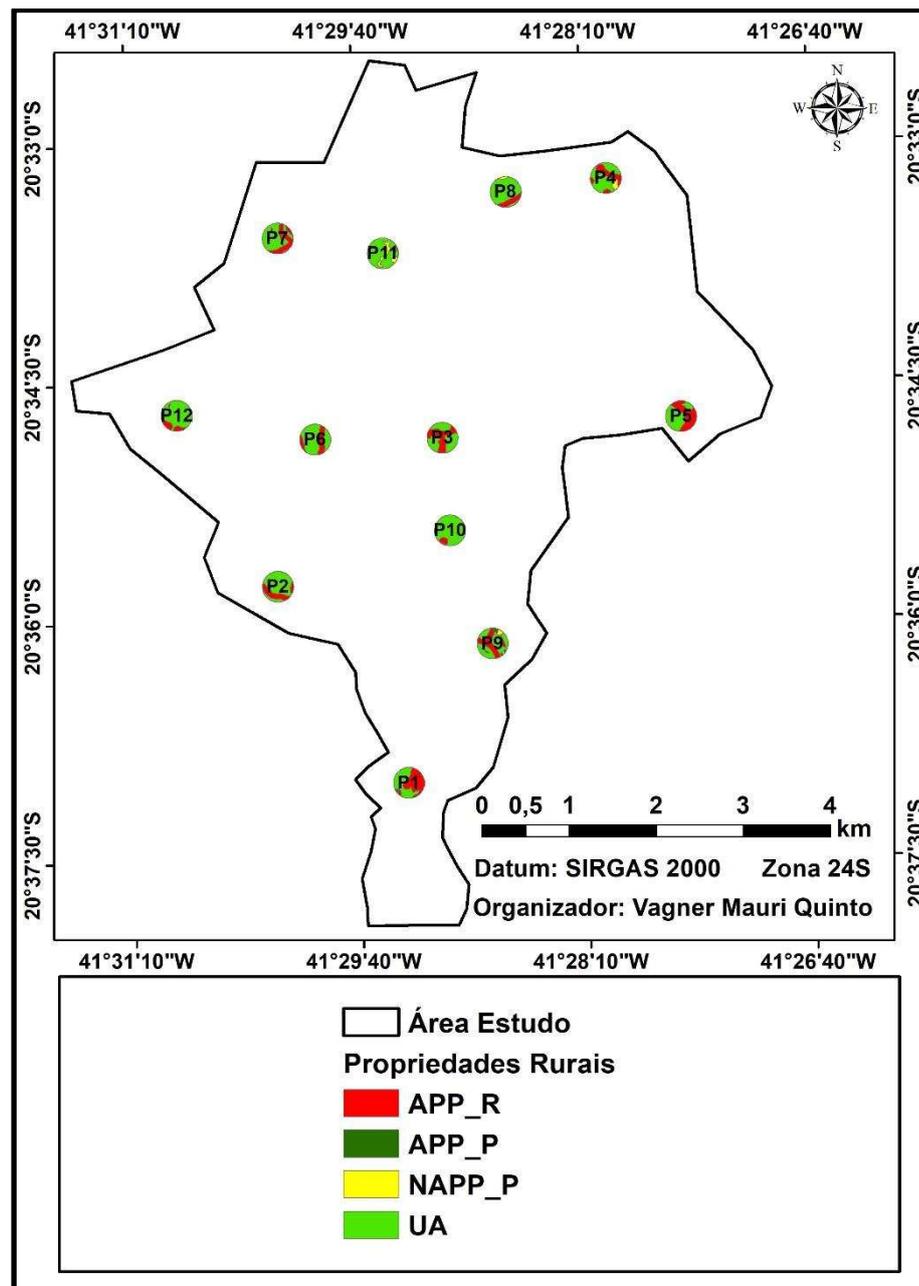


Figura 29. Mapa temático das propriedades contempladas pela simulação do ressarcimento por hectare preservado ou a ser recuperado.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o estudo foi desenvolvido é possível se concluir que:

A sistematização da metodologia adotada em ambiente SIG foi adequada para a delimitação da bacia hidrográfica, identificação das áreas de preservação permanente, quantificação da perda de solos, análise no conflito de uso da terra dentro das áreas de preservação permanente, desenvolvimento do índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas e pagamento por serviços ambientais.

A erosividade média anual das chuvas apresentou a totalidade de seus valores variando entre as classes de média a forte e forte para a área de estudo. Para o estado do Espírito Santo, os maiores valores de erosividade anual encontram-se concentrados na região Sudoeste, enquanto, nas regiões litorâneas e no Norte do estado encontram-se os menores valores.

A bacia hidrográfica quase não apresentou alteração nos períodos pré e pós-implantação da PCH São Simão, com predominância da classe de pastagem. Houve aumento da área das classes de massa d'água, solo exposto e campo sujo e redução da área da classe de mata nativa em estágio inicial de regeneração.

Atualmente apenas 11,80% das áreas de preservação permanente encontram-se adequadamente cobertas por áreas florestadas.

Houve aumento no valor máximo da perda de solo pós-implantação da PCH, devido à maior área de solo exposto identificado na área.

O índice de necessidade de recuperação de áreas desmatadas ou degradadas apresentou resultado satisfatório, não subestimando e nem superestimando as áreas a serem recuperadas, bem como foi capaz de indicar a não necessidade de recuperação em locais de matas ou cursos d'água.

O modelo de pagamento por serviços ambientais mostrou-se adequado para a compensação das áreas a serem reflorestadas, porém pouco atrativo nas condições atuais.

6. REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. Hidro Web. – **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.

ATTANASIO, C.M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. Piracicaba, 2004, 206f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

BAHIA, V.G.; CURI, N.; CARMO, D.N.; MARQUES, J.J.G.S. **Fundamentos de erosão do solo**: tipos, formas mecanismos, fatores determinantes e controle. Informe Agropecuário, v.16, p.25-31, 1992.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BERTONI, J.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. Cap. 5, p. 177-241.

BONO, J.A.M.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CARVALHO, M.M.; SILVA, M.L.N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. **Pasturas tropicales**, v. 18, n. 2, 1996.

BRASIL. **Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo código florestal (REVOGADA PELA LEI 12.651/2012). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em: 10 jun. 2016

BRASIL. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 14 de agosto de 2001; e da outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 10 jun. 2016.

BRASIL PCH. **São Simão Energia S.A.** Disponível em: <<http://www.brasilpch.com.br/empreendimentos/sao-simao-energia-s-a/>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BUFON, A.G.M.; LANDIM, P.M.B.; MELO, J.S.C. Estimativa do tempo de vida útil de represa de pequeno porte. **Acta Scientiarum**. Technology. Maringá, v. 31, n. 1, p. 87-92, 2009.

CABRAL, C.E.A.; AMORIM, R.S.S.; DORES, E.F.G.C.; SILVA, E.M.B. Estimativa de perda de solo em sistemas de cultivo em lavouras de algodão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-8, 2010.

CARVALHO, D. C. **Potencial natural de erosão em Cristais Paulista – SP**: Uma análise de suscetibilidade utilizando o modelo EUPS e a sistemática morfoestrutural. Rio Claro, 2008. 73f. Monografia (Graduação) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

CHAGAS, C.S. **Zoneamento agroecológico do município de Dois Irmãos do Buriti - MS**/César da Silva Chagas ... [et al.]. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 63p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

CHAVES, H.M.L. **Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco**. In: Relatório Final de Consultoria. Brasília: CODEVASF – FAO, 1994. 35p.

CHOMITZ, K.M.; BRENES, E.; CONSTANTINO, L. Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications. **The Science of The Total Environment**, v. 240, p. 157-169. 1999.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 303, 20 de março 2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do Cs¹³⁷**. Piracicaba, 2003. 99 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

COUTINHO, L.M. ; ZANETTI, S.S.; CECÍLIO, R.A.; GARCIA, G.O.; XAVIER, A.C. Usos da terra e áreas de preservação permanente (APP) na bacia do Rio Prata, Castelo-ES. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 425-434, 2013.

DECHEN, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.F.; DE MARIA, I.C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

DEMARCHI, J.C.; ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DOMINGOS, J.L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica**. Vitória, 2006. 67f. Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2006. 306 p. il.

ESRI. ArcGis – ArcMap 10.0. **Help online**. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

FAO and ITPS. 2015. **Status of the World's Soil Resources (SWSR)** – Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS 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.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 136f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

GEOBASES – **Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo**. 2016. Disponível em: <https://www2.geobases.es.gov.br/publico/AcessoNavegador.aspx?id=142&nome=NAVEGADOR_GEOBASES>. Acesso em: 20 jan. 2016.

GOMES, R.C. **Integração dos métodos AHP e SIG como instrumentos de análise do nível de qualidade ambiental em bacias hidrográficas**: estudo de caso da bacia do rio Melchior - DF. 2015. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, C.; FO.; LANDERS, J.N.. A erosão e seu impacto. In Manzatto, C.V.; FREITAS JR., E.; PERES, J.R.R. (Eds.), **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002, p. 47-60.

LAGROTTI, C.A.A. **Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim, SP**: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim. Campinas, 2000. 115f. Tese (Doutorado) – FEAGRI/UNICAMP.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas Ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. Cap. 3, p. 33-44.

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

MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P.; SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 427-434, 1997.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 395-403, 2003.

MORAIS, R.C.S.; SALES, M.C.L. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piaí-Brasil, com uso de sistema de informação geográfica. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. especial 1, p. 84-105, 2017.

NAIMAN, R.J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. **Annual Review Ecological System**, v. 28, p. 621-658, 1997.

NASCIMENTO, M.C.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 207 – 220, 2005.

OLIVEIRA, G. C.; FERNANDES FILHO, E. I. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informações geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Paraná: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013, p. 4.443 – 4.450.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**, 25, 1.021-1.036, 2011.

PEIXOTO, M. Pagamento por serviços ambientais: aspectos teóricos e proposições legislativas. **Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado**. Textos para discussão 105, 2011.

PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C. (ORG). **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ArcGis 9.3**. Alegre: CAUFES, 2010.

PIMENTA, M.T. **Diretrizes para a aplicação da equação universal de perdas dos solos em SIG**: fator de cultura C e fator de erodibilidade do solo K. [s.l.]: INAG/DSRH, 1998.

PIRES, L.S.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; BRITO, L.F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687-695, 2006.

QUINTO, V.M. **Análise espacial e temporal dos fatores de erosão hídrica em Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pastagem e eucalipto**. Jerônimo Monteiro, 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo.

RIBEIRO, L.S.; ALVES, M.G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p.3039-3046. Disponível em: <<http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.16.01/doc/3039-3046.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/ USP, 1998. 840p.

ROLOFF, G.; DENARDIN, J.E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. **Resumos**. Florianópolis: SBCS, 1994. p. 150-151.

RUHOFF, AL.; SOUZA, B. S.P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R.S. Avaliação dos processos erosivos através da equação universal de perdas de solos, implementada com algoritmos em legal. **Geomática**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 12-22, 2006.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, Pennsylvania, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAITO, N.S.; CECÍLIO, R.A.; PEZZOPANE, J.E.M.; SANTOS, A.R.; GARCIA, G.O. Uso da geotecnologia na estimativa da erosividade das chuvas e sua relação com o uso e ocupação do solo para o Espírito Santo. **Revista Verde**, v. 4, n. 2, p. 51-63, abr./jun., 2009.

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

SILVA, J.R.C. **Perdas de solo e produção de sedimentos**. 1978. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1978.

SILVA, K.G.; SANTOS, A.R.; BALAN, L.L. Análise multitemporal da cobertura do solo na área de influência da PCH – São Simão, utilizando imagens suborbital e orbital. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 116 – 126, 2011.

SILVA, L. F. **A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA)**: uma proposta Metodológica. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

SILVA, R. M.; PAIVA, F. M. L.; SANTOS, C. A. G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do Rio Capiá baseado em sig e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 02, n. 01p. 26 – 40, 2009.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S.; OLIVEIRA, R.B. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o Estado do Espírito Santo, Brasil. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n.3, p. 312-323, 2010.

SPAROVEK, G.; RANIERE, S.B.L.; GASSNER, A.; DE MARIA, I.C.; SCHNUG, E.; SANTOS, R.F.; JOUBET, A. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forest. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 90, p. 169-175, 2002.

STEIN, D.P.; DONZELI, P.L.; GUIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão natural e antrópico na bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 4, 1987, Marília. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1987.p. 105-135.

TIBCO. **Statistica 13 Trial.** Disponível em: <<http://documentation.statsoft.com/STATISTICAHelp.aspx?path=Common/CommonDialogs/AboutSTATISTICA>>. Acesso em: 07 out. 2017.

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

WALKER, D. Professional development course training manual. Philadelphia, Pennsylvania: **International Erosion Control Association (IECA)**, 2004. 78 p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky mountains:** Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington: Agricultural Research Service. United States. Department of Agriculture in Cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, 1965. 49p. Agriculture Handbook, 282.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses:** a guide to conservation planning. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 67p. Agriculture Handbook, 537.

WOLLMANN, D.; STEINER, M.T.A.; VIEIRA, G.E.; STEINER, P.A. Utilização da técnica AHP para análise de concorrência entre operadoras de planos de saúde. **GEPROS**, ano 6, n. 4, p. 111-124, 2011.

WUNDER, S.; BÖRNER, J.; TITO, M. R.; PEREIRA, L. **Pagamentos por serviços ambientais:** perspectivas para a Amazônia Legal. 2º ed. revisada, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 144 p. il.

ZAMBON, K.L.; CARNEIRO, A.A.F.M.; NEGRI, J.C.; Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. **Pesquisa operacional**, v. 25, n. 2, p. 183-199, 2005.