



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – FCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

GLEICE SANTANA PEREIRA

**ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS: APLICAÇÃO DE MODELOS PREDITIVOS
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SÃO PAULO - BRASIL**

Presidente Prudente - SP

2021

GLEICE SANTANA PEREIRA

**ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS: APLICAÇÃO DE MODELOS PREDITIVOS
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SÃO PAULO - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade Ciências e Tecnologia (FCT) – Campus Presidente Prudente, como requisito para aquisição do título de mestra em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia.

Presidente Prudente - SP

2021

P436a

Pereira, Gleice Santana

Análise dos processos erosivos: aplicação de modelos preditivos na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, São Paulo -Brasil / Gleice Santana Pereira. -- Presidente Prudente, 2021

129 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista(Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientadora: Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia

1. Geomorfologia. 2. Erosão. 3. Bacias hidrográficas. 4.

Modelagem. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

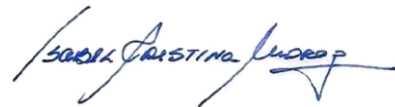
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Análise dos processos erosivos: aplicação de modelos preditivos na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, São Paulo - Brasil

AUTORA: GLEICE SANTANA PEREIRA

ORIENTADORA: ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Geografia, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Unesp/FCT - Câmpus de Presidente Prudente



Prof. Dr. EDSON LUÍS PIROLI (Participação Virtual)
Coordenadoria Executiva / Unesp/Ourinhos

Prof. Dr. JURANDYR LUCIANO SANCHES ROSS (Participação Virtual)
FFLCH/USP/São Paulo (SP)

Presidente Prudente, 08 de novembro de 2021

A minha mãe e irmãos...
pelo estímulo, apoio e amor em
todos os momentos.
Que continuemos fortes e unidos!

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) e Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), pela infraestrutura ofertada para o desenvolvimento da pesquisa em nível de Mestrado.

A todos os membros do Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos (LGGRH) e especialmente a Prof^a. Dra. Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia pela confiança, paciência e constante estímulo demonstrados durante a orientação deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado (2020-2021), processo número 88887.505564/2020-00. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A pesquisa propõe uma análise acerca da suscetibilidade à erosão laminar e linear na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do peixe (UGRHI 21) e projeção de cenário por meio da simulação da restauração florestal das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) afim de avaliar o papel da vegetação ciliar no abatimento de perdas de solo por erosão laminar e na diminuição da exportação de sedimentos para os cursos fluviais. Para os estudos relacionados à erosão laminar foi aplicada a estimativa de perdas de solo através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e no que diz respeito à análise das erosões lineares elaborou-se o Mapa de Fragilidade Ambiental, baseado nos pressupostos metodológicos estabelecidos por Ross (1990, 1994, 1995 e 1996). Os resultados obtidos com a aplicação da EUPS indicam que 67% da UGRHI 21 está inserida na classe de perda de solo equivalente a “>100 ton.ha/ano” (grau de erosão muito alto) e em relação a Fragilidade Ambiental, 65% se encontra na classe “Alto”. Para a projeção de cenário, os resultados indicaram que as áreas que apresentam perdas de solo “> 100 ton.ha/ano” tiveram uma redução de 3%, enquanto as áreas com perdas de “< 10 ton.ha/ano” (grau de erosão muito baixo) apresentaram um aumento de 7%. Os resultados obtidos para a exportação de sedimentos revelaram um aumento de 3% da classe “<10 ton.ha/ano” e decréscimos de 1% para a classe de “10 a 20 ton.ha/ano” e 2% para a classe “>100 ton.ha/ano”. Do mesmo modo, analisando a estimativa de exportação de sedimentos por Unidades de Planejamento Hidrográfico (UPH) e comparando o cenário atual com a projeção, aprontamos que houve diminuição em todas as UPHs, sendo que a UPH “Baixo Curso” apresentou redução de 13%, a “Médio Curso” apresentou redução de 8,5% e “Alto Curso”, redução de 25%.

Palavras-chave: Erosão pluvial, Determinação de perda de solo, Modelagem, Projeção de cenários.

ABSTRACT

The research proposes an analysis of the susceptibility to laminar and linear erosion in the Rio do Peixe Water Resources Management Unit (UGRHI 21) and a scenario projection by simulating the forest restoration of Permanent Preservation Areas (APPs) in order to evaluate the role of riparian vegetation in reducing soil losses due to laminar erosion and in reducing the export of sediment to river courses. For studies related to laminar erosion, the estimation of soil losses was applied through the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and with regard to the analysis of linear erosions, the Environmental Fragility Map was prepared, based on the assumptions methodologies established by Ross (1990, 1994, 1995 and 1996). The results obtained with the application of the USLE indicate that 67% of the UGRHI 21 is included in the class of soil loss equivalent to ">100 ton.ha/year" (very high degree of erosion) and in relation to Environmental Fragility, 65% is found in the "High" class. For the scenario projection, the results indicated that the areas with soil losses "> 100 ton.ha/year" had a reduction of 3%, while the areas with losses of "< 10 ton.ha/year" (degree very low erosion) showed an increase of 7%. The results obtained for the export of sediments revealed an increase of 3% for the class "<10 ton.ha/year" and decreases of 1% for the class of "10 to 20 ton.ha/year" and 2% for the class ">100 ton.ha/year". Likewise, the estimate of sediment export by Hydrographic Planning Units (HPU) was analyzed and comparing the current scenario with the projection, it was possible to conclude that there was a decrease in all HPU, being that the HPU "Low Course" presented a reduction of 13%, the "Middle Course" presented a reduction of 8.5% and "High Course", a reduction of 25%.

Keywords: Rain erosion, Determination of soil loss, Modeling, Projection of scenarios.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - UGRHIs do Estado de São Paulo.....	18
Figura 2 - Localização da UGRHI 21.....	20
Figura 3 - Ciclo Hidrológico.....	22
Figura 4 - Esquema gráfico da formação da vazão em cursos d'água.....	23
Figura 5 - Esquema de uma bacia hidrográfica.....	24
Figura 6 - Etapas do processo de erosão.....	27
Figura 7 - Impacto pela chuva e saltitação (splash).....	29
Figura 8 - (a) Modelo de erosão laminar (b) Exemplo de erosão laminar.....	30
Figura 9 - (a) Modelo de formação de sulcos (b) Exemplo de sulco.....	31
Figura 10 - (a) Modelo de formação de ravinas (b) Exemplo de ravina.....	31
Figura 11 - (a) Formação de voçorocas (b) Exemplo de voçoroca.....	32
Figura 12 - Perfil de encostas convexas.....	33
Figura 13 - Perfil de encostas côncavas.....	33
Figura 14 - Processos ocorridos devido à urbanização.....	37
Figura 15 - Interface do módulo SDR da ferramenta InVEST.....	44
Figura 16 - Mapa Geológico.....	59
Figura 17 - Valores percentuais de cada formação geológica.....	60
Figura 18 - Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo (simplificado).....	61
Figura 19 - Mapa Geomorfológico.....	62
Figura 20 - Mapa Hipsométrico.....	63
Figura 21 - Valores percentuais de cada classe geomorfológica.....	64
Figura 22 - Valores percentuais de cada classe de hipsometria.....	64
Figura 23 - Mapa Clinográfico (Declividade).....	65
Figura 24 - Valores percentuais de cada classe de declividade.....	66
Figura 25 - Esboço pedológico.....	67
Figura 26 - Valores percentuais de cada classe de pedologia.....	68

Figura 27 - Mapa de erosividade da UGRHI 21.....	69
Figura 28 - Mapa de uso da terra.....	71
Figura 29 - Valores percentuais de cada classe de uso.....	72
Figura 30 - Mapas intermediários utilizados na elaboração da EUPS.....	74
Figura 31 - Mapa de estimativa de perda de solo por erosão laminar.....	75
Figura 32 - Gráfico de perda de solo por classe.....	76
Figura 33 - Mapa de sedimentos exportados.....	77
Figura 34 - Gráfico por classe de sedimento exportado.....	78
Figura 35 - Classes de uso da terra na Área de Proteção Permanente.....	79
Figura 36 - Percentuais das classes de uso da terra atual e no cenário de recomposição das APPs.....	80
Figura 37 - Mapa da perda de solo a partir da simulação de reconstituição das APPs.....	81
Figura 38 - Gráfico de perda de solo para o cenário de recomposição vegetação arbórea nas APPs.....	82
Figura 39 - Gráfico comparativo entre a perda de solo no cenário atual e no cenário simulado, em porcentagem.....	82
Figura 40 - Gráfico comparativo de perda de solo por UPH no cenário atual e no cenário simulado.....	83
Figura 41 - Mapa de sedimentos exportados a partir da simulação da reconstituição das APPs.....	84
Figura 42 - Gráfico por classe de sedimento exportado a partir da simulação da reconstituição das APPs.....	85
Figura 43 - Gráfico comparativo de sedimento exportado no cenário atual e no cenário simulado, em porcentagem.....	85
Figura 44 - Comparação de sedimento exportado por UPH.....	86
Figura 45 - Mapa de Fragilidade do Relevo.....	87
Figura 46 - Gráfico percentual das classes de Fragilidade do Relevo.....	88
Figura 47 - Níveis de fragilidade para os solos.....	89

Figura 48 - Gráfico dos níveis de fragilidade do solo por classe.....	90
Figura 49 - Comparação entre as fragilidades do relevo e do solo (em porcentagem).....	90
Figura 50 - Mapa de Fragilidade Potencial.....	91
Figura 51 - Gráfico de Fragilidade Potencial por classe.....	92
Figura 52 - Níveis de fragilidade para o uso da terra.....	93
Figura 53 - Níveis de fragilidade do solo por classe.....	94
Figura 54 - Comparação entre os níveis de fragilidade do relevo, solo e uso (em porcentagem).....	94
Figura 55 - Mapa de Fragilidade Emergente (Ambiental).....	95
Figura 56 - Gráfico de Fragilidade Emergente (Ambiental) por classe.....	96
Figura 57 - Gráfico comparativo entre as áreas (em porcentagem) de cada classe dos Mapas de Fragilidade.....	96
Figura 58 - Localização dos processos erosivos no baixo, médio e alto curso do Rio do Peixe - SP.....	100
Figura 59 - Localização das erosões na UPH do baixo curso da UGRHI 21.....	102
Figura 60 - Voçorocas localizadas no baixo curso: (a) Alfredo Marcondes/SP (b) Avenida Dom Pedro II, Rancharia/SP.....	102
Figura 61 - Localização das erosões na UPH do médio curso da UGRHI 21.....	103
Figura 62 - Voçorocas localizadas no médio curso: (a) Quintana/SP (b)Tupã/SP	103
Figura 63 - Localização das erosões na UPH do alto curso da UGRHI 21.....	104
Figura 64 - Voçorocas localizadas no alto curso: (a) Marília/SP (b) Erosão próxima à ferrovia avança em Vera Cruz/SP.....	104
Figura 65 - Suscetibilidade a processos erosivos pluviais.....	111
Figura 66 - Gráfico de suscetibilidade a processos erosivos pluviais por classe..	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação sobre a mudança de uso do solo.....	25
Quadro 2 - Fatores que influenciam na suscetibilidade dos solos.....	34
Quadro 3 - Classificação dos fatores de degradação dos solos em áreas rurais.	38
Quadro 4 - Modelos preditivos para estimativa de perda de solo e de produção de sedimentos.....	41
Quadro 5 - Diferenças entre Tricart (1977) e Ross (1994).....	44
Quadro 6 - Níveis de fragilidade para a declividade.....	48
Quadro 7 - Classes de erosividade.....	49
Quadro 8 - Dados de entrada do modelo de retenção de sedimentos do InVEST.....	50
Quadro 9 - Valores de erodibilidade dos tipos de solo.....	51
Quadro 10 - Valores das variáveis C e P.....	51
Quadro 11 - Grau de erosão por quantidade de perda de solo.....	53
Quadro 12 - Níveis de fragilidade atribuídos às categorias morfométricas do relevo.....	54
Quadro 13 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo para escalas médias.	55
Quadro 14 - Níveis de fragilidade atribuídos aos tipos de solo.....	55
Quadro 15 - Níveis de fragilidade atribuídos às classes de uso da terra.....	56
Quadro 16 - Índice das classes de uso da terra.....	72
Quadro 17 - Variáveis predominantes em cada classe de perda de solo.....	107
Quadro 18 - Variáveis predominantes em cada classe de Fragilidade Emergente.....	109
Quadro 19 - Propostas para o manejo no uso da terra.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perda de solo por UPH.....	76
Tabela 2 - Sedimento exportado por UPH.....	78
Tabela 3 - Perda de solo por UPH através da recomposição das APPs.....	83
Tabela 4 - Sedimento exportado por UPH através da recomposição das APPs.	86
Tabela 5 - Quantidade de erosões urbanas e rurais.....	98
Tabela 6 - Densidade de processos erosivos por UPH.....	101
Tabela 7 - Densidade de erosão por forma de relevo e índice de dissecação.....	105
Tabela 8 - Densidade de erosão por classe de solo.....	105
Tabela 9 - Densidade de erosão por classe de uso da terra.....	106

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Localização e problemática da área de estudo.....	17
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo geral.....	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS QUE SUSTENTAM A PESQUISA.....	22
3.1 Principais Características das bacias hidrográficas e processos hidrológicos.....	22
3.2 Erosão enquanto processo natural e a erosão acelerada.....	26
3.2.1 Erosão pluvial ou hídrica.....	27
3.2.1.1 <i>Energia cinética da chuva e a ruptura dos agregados.....</i>	<i>29</i>
3.2.1.2 <i>Erosão laminar.....</i>	<i>30</i>
3.2.1.3 <i>Erosão linear.....</i>	<i>31</i>
3.2.2 Fatores que influenciam nos processos erosivos.....	33
3.2.2.1 <i>A variável relevo no processo erosivo.....</i>	<i>33</i>
3.2.2.2 <i>Tipos de solos.....</i>	<i>34</i>
3.2.2.3 <i>Clima.....</i>	<i>36</i>
3.2.2.4 <i>Cobertura vegetal e proteção do solo.....</i>	<i>36</i>
3.2.2.5 <i>Ação antrópica.....</i>	<i>37</i>
3.3 O uso dos sistemas de informação geográfica na modelagem ambiental e sua aplicação para o planejamento ambiental.....	39
3.3.1 Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS.....	42
3.3.2 Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizado..	44
3.4 Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as matas ciliares.....	46
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
4.1 Caracterização do meio físico e uso da terra.....	48
4.2 Cálculo da estimativa de perda de solo e exportação de sedimentos.....	49

4.3	Elaboração da simulação da perda de solo a partir do cenário de reconstituição das APPs.....	53
4.4	Diagnóstico da fragilidade ambiental.....	54
4.5	Mapa de síntese de susceptibilidade à erosão pluvial.....	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
5.1	Meio físico.....	57
5.2	Uso da terra.....	70
5.3	Estimativa de perda de solos por erosão laminar.....	74
5.4	Simulação de recomposição florestal das APPs e estimativa de perda de solo e exportação de sedimentos.....	79
5.5	Diagnóstico da Fragilidade ambiental.....	86
5.6	Processos erosivos na UGRHI 21 e análise individual das variáveis do meio físico e antrópico.....	97
5.7	Suscetibilidade a processos erosivos pluviais.....	110
5.8	Propostas de manejo para mitigação dos processos erosivos.....	112
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
	APÊNDICE.....	126

1 INTRODUÇÃO

Essencialmente, a erosão hídrica ocorre devido deslocamento das partículas do solo pela ação da precipitação e do escoamento, acarretando o transporte das partículas para jusante onde se depositam podendo ser novamente transportadas (LIMA, 2010). No clima tropical úmido, a erosão hídrica é acelerada na presença de solos desprotegidos (GUERRA et al., 1999), uma vez que o impacto direto das gotas de chuva causa a desagregação das partículas do solo (efeito *splash*), as tornando mais suscetíveis ao arraste mecânico, gerado pelo escoamento superficial das águas, originando a erosão laminar.

Conforme esse fenômeno prossegue, há o selamento dos poros do solo por partículas desagregadas, dificultando a infiltração da água e favorecendo o escoamento superficial (WADT et al., 2003). Deste modo, entendemos que a artificialização do ambiente sem um devido controle é o fator fundamental que acelera o processo, pois a retirada da cobertura vegetal contribui categoricamente para a maior desagregação do solo e, conseqüentemente, para o maior transporte.

Para Gomes (2001):

O solo é uma camada viva, em processo permanente de formação, através da alteração das rochas e de processos pedogenéticos. Este processo é contrabalançado pelo processo de erosão, que remove seus constituintes, sobretudo pela ação da água de chuva. Portanto, há um quadro dinâmico, no qual diversos processos atuam de forma contraditória, formando e erodindo o solo, refletindo certo equilíbrio na natureza, no qual a erosão é considerada normal (p. 38).

Geralmente, quando esses processos estão associados a um ou mais fatores antrópicos, como desmatamento, incêndios e uso da terra, favorecem a deflagração da erosão de maneira acelerada. Segundo Guerra (1993) a erosão acelerada se dá por meio da “[...] intervenção humana e seres vivos, em geral, ocasionando um desequilíbrio litogliptogênico. É o aceleração da erosão nas camadas superficiais do solo motivado por desflorestamento, cortes de barrancos em estradas, etc.” (p. 155).

Segundo pesquisa da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2015), 33% dos solos em uso no mundo encontram-se degradados e especificamente nos solos latino-americanos, o valor sobe para cerca de 50%.

No Brasil, as perdas de solo provocadas por processos erosivos em áreas ocupadas por lavouras e pastagens giram em torno de 822,7 milhões de toneladas por ano, com prejuízos avaliados em mais de 5 bilhões de dólares/ano (PRUSKI, 2006; COOPER, 2009). No Estado de São Paulo, é estimado que 80% da área agricultada esteja lidando com processos erosivos, perdendo 200 milhões de toneladas de solo por ano, dos quais 70% são carregados aos mananciais, resultando no assoreamento e poluição dos mesmos (ZOCCAL, 2007). A perda da camada superior dos solos é um dos fatores que torna tão importante entender a degradação dos solos pelos processos erosivos, pois, é nela que estão presentes as maiores concentrações de nutrientes e matéria orgânica (WADT et al., 2003).

O entendimento aprofundado a respeito dos processos que envolvem as dinâmicas erosivas, partindo do momento em que as gotas da chuva incidem sobre o solo, se torna essencial para que se constituam metodologias que possam intervir ou mesmo reverter à conjuntura de degradação dos solos e do ambiente, partindo do pressuposto de que o conhecimento aprofundado das ocorrências e seus processos permitem pôr em prática ações que operem sobre o manejo do solo de maneira eficaz e objetiva. Atualmente, o processo erosivo acelerado é uma das maiores ameaças para o desenvolvimento sustentável e para a capacidade produtiva da agricultura, já que as perdas de solo aumentam os gastos na produção por demandar cada vez mais corretivos e fertilizantes (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; GUERRA, 2005). Assim, constatamos que a erosão não é exclusivamente um fenômeno físico, mas também uma questão social e econômica.

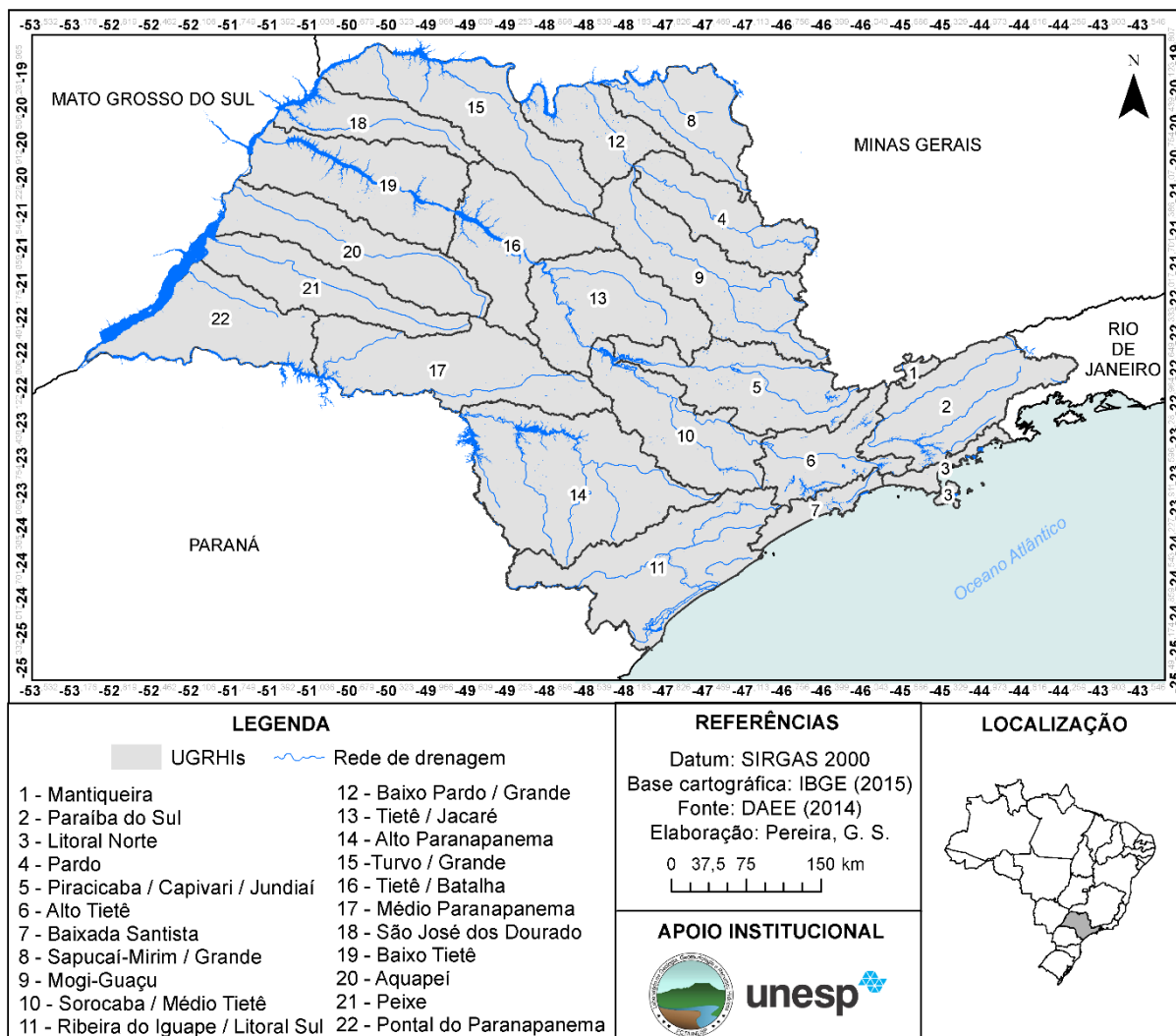
Dos modelos existentes para prever e estimar a perda de solo por erosão pluvial optou-se por aplicar nesta pesquisa a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1978) que permite quantificar a perda de solo e a metodologia da Fragilidade Ambiental proposta por Ross (1990, 1994) que qualifica a suscetibilidade aos processos erosivos.

1.1 Localização e problemática da área de estudo

Leal (2012) destaca que para o estado de São Paulo, a divisão dos limites das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHs (Figura 1) foi definida pela Lei 9.034/1994 e agrupadas através de fatores como a geomorfologia,

geologia, hidrologia regional e hidrogeologia, aspectos políticos, socioeconômicos e demografia.

Figura 1 – UGRHIs do Estado de São Paulo.



Elaborado pela autora.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe (UGRHI 21), está localizada na região oeste do Estado de São Paulo e é definida pela bacia hidrográfica do rio do Peixe, cujo rio principal nasce na Serra dos Agudos e desemboca no rio Paraná, percorrendo aproximadamente 380 quilômetros. A bacia apresenta alta criticidade em relação aos processos erosivos visto que das 78 sub-bacias do rio do Peixe, 62 possuem alto potencial à degradação por erosão (79,49%), 10 têm médio potencial (12,82%) e 6 (7,69%) baixo potencial (CETEC, 2008).

Segundo dados do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos disponibilizados pelo portal do Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos

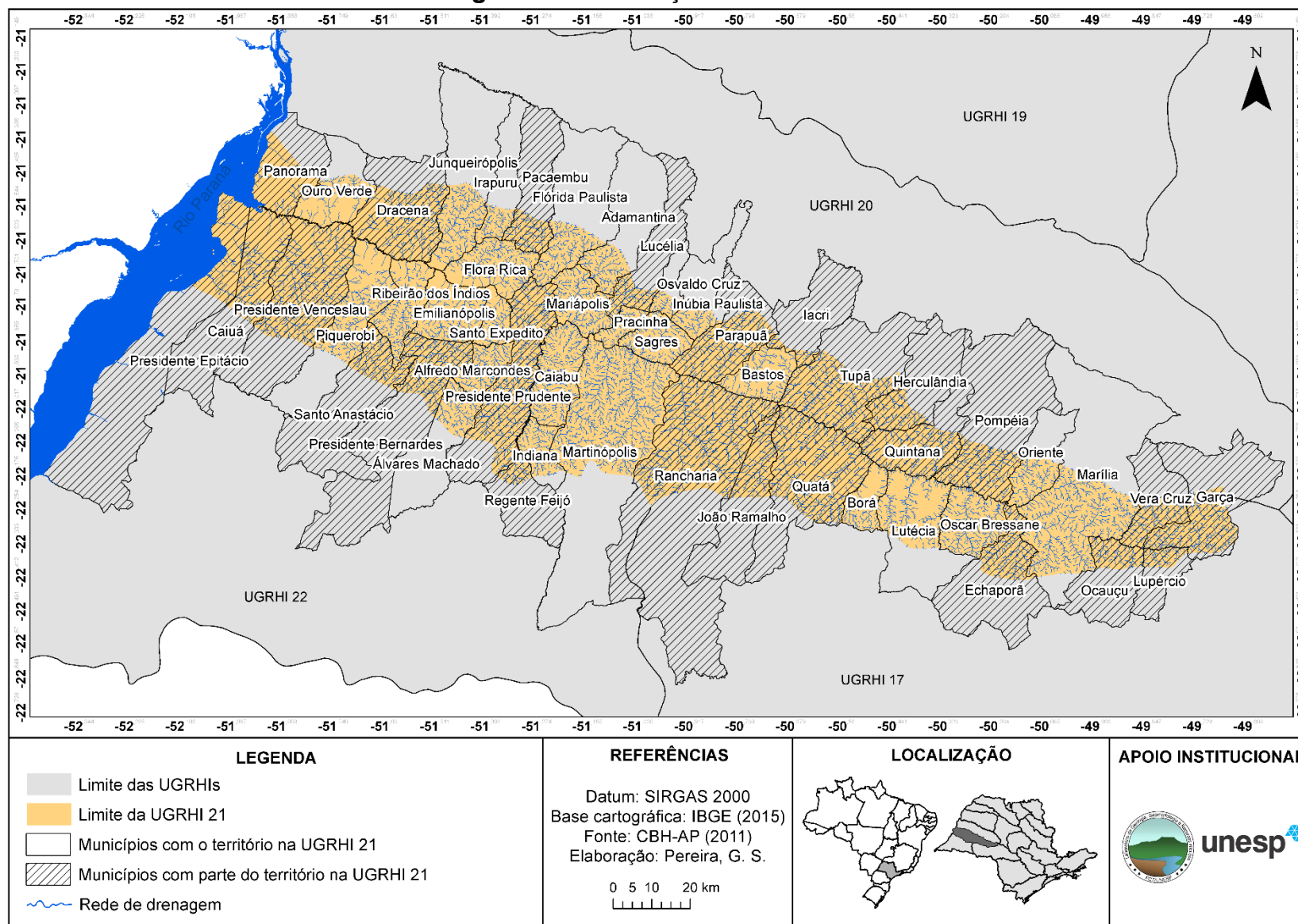
do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2018), as consequências decorrentes da erosão e do assoreamento podem ser avaliadas de forma indireta pelos indicadores de qualidade das águas superficiais, que, por sua vez, remetem a um nível de preocupação quanto à qualidade das águas dos rios Aguapeí e Peixe, em especial dos mananciais de abastecimento público das duas maiores cidades da região, Marília e Presidente Prudente.

O Relatório aponta ainda que diversos diagnósticos realizados no âmbito das UGRHIs do rio Aguapeí e Peixe explicitam que diante da falta de planejamento do uso da terra, tanto no meio urbano quanto rural, bem como a carência de práticas de controle de drenagem e medidas de conservação e proteção do solo, muitos são os desafios quanto à preservação dos recursos hídricos por eventos erosivos e de assoreamento (SÃO PAULO, 2018).

Diante disso, a presente pesquisa propôs aplicar à área de estudo (Figura 2), metodologias de predição de processos erosivos laminares e lineares e servirá para investigar os fatores forçantes do meio físico que promovem esse quadro, considerando o uso da terra, identificando áreas prioritárias para implementação de programas mitigadores e projetando um cenário de recuperação. Nesse sentido, a pesquisa poderá oferecer subsídios para o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP) no que diz respeito à recuperação de áreas degradadas e às estratégias para o planejamento ambiental que leve em consideração as fragilidades dos ambientes em relação aos processos erosivos do tipo laminar e linear.

É indispensável ressaltar que mesmo que o estudo seja referente a uma única UGRHI, a sua contribuição e importância para a ciência não pode ser considerada pontual, pois sua aplicação no âmbito desta pesquisa busca o aprimoramento de uma metodologia que poderá ser aplicada em qualquer outra bacia hidrográfica com a mesma eficácia, na obtenção dos resultados e na análise de erosão pluvial.

Figura 2 – Localização da UGRHI 21.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os processos erosivos laminares e lineares na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe (UGRHI 21) e estimar, através da projeção de cenário, como a recomposição florestal das Áreas de Preservação Permanente (APPs) pode reduzir a exportação de sedimentos para os canais fluviais, diminuindo o impacto negativo sobre os recursos hídricos.

2.2 Objetivos específicos

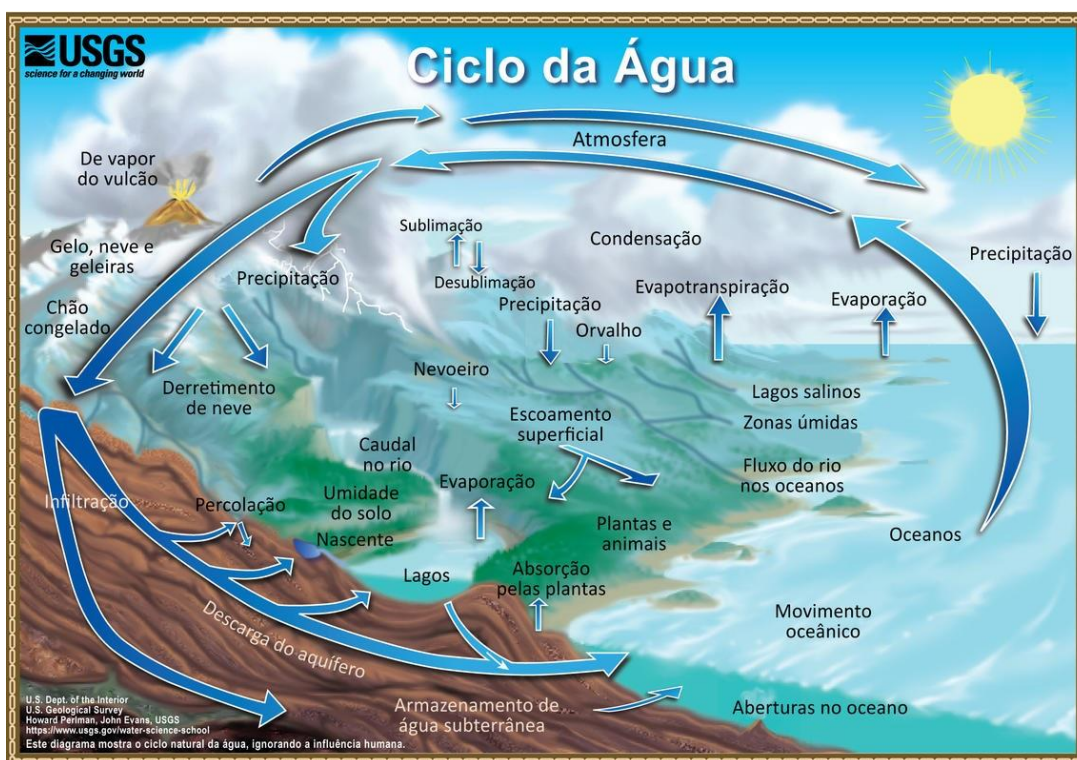
- Analisar as características do meio físico e do uso da terra;
- Estimar a perda de solos por erosão laminar e a taxa de exportação de sedimentos;
- Determinar a fragilidade ambiental à erosão linear;
- Correlacionar as variáveis do meio físico e antrópico a fim de entender as forças que atuam mais no processo de erosão pluvial;
- Avaliar os ganhos ambientais em termos de redução de exportação de sedimentos em um cenário de recomposição da vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APPs), e,
- Ponderar as contribuições e as limitações da determinação da suscetibilidade à erosão hídrica pelo meio da modelagem indireta.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS QUE SUSTENTAM A PESQUISA

3.1 Principais Características das bacias hidrográficas e processos hidrológicos

O ciclo da água é acionado pela energia solar que retira água pela evaporação da superfície do mar e terrestre, fazendo com que essa água entre no sistema de circulação geral da atmosfera; criando condições de precipitação ao resfriar o ar úmido que compõe as nuvens. Os processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica possuem duas direções de fluxo: a vertical e a longitudinal. A direção vertical é representada pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, enquanto a direção longitudinal é representada pelo escoamento superficial e rios, como demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Ciclo Hidrológico.

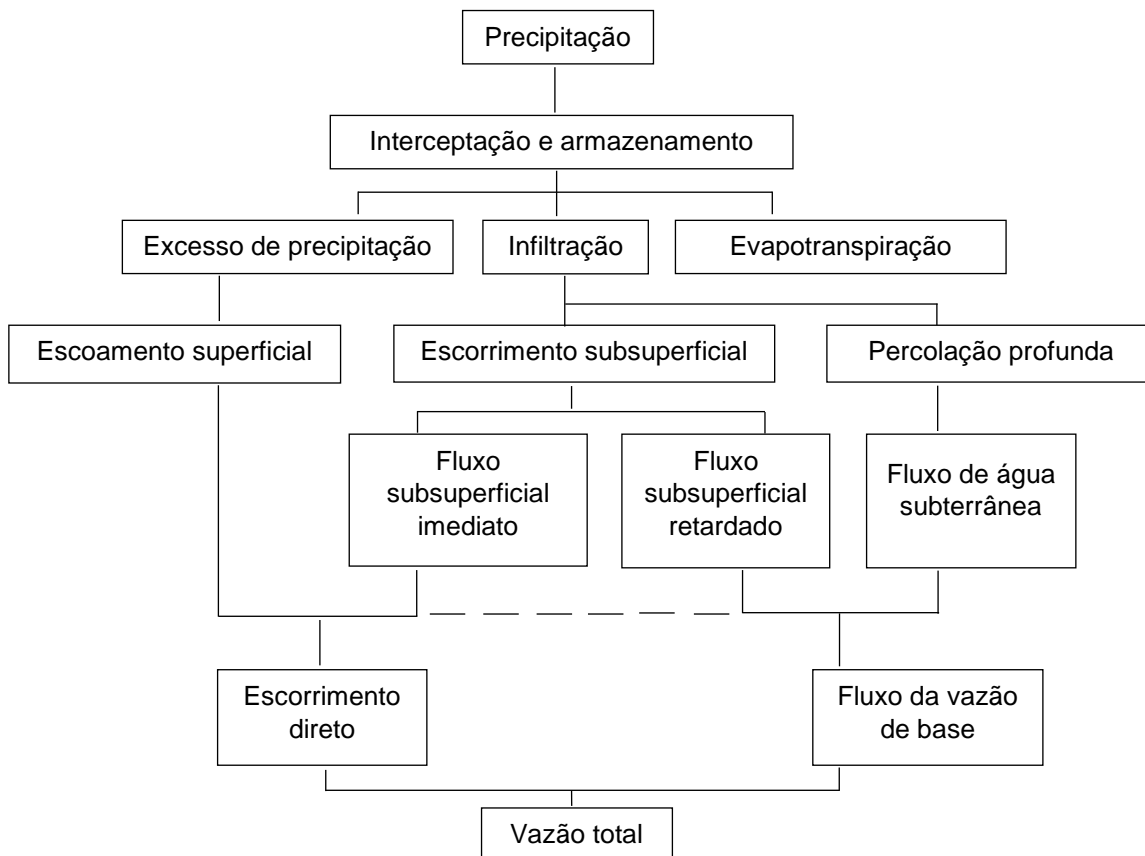


Fonte: Adaptado de USGS.

Do total de precipitação que atinge o solo, uma parte pode infiltrar e outra escoar superficialmente, variando com a capacidade de infiltração do solo; condição essa que depende da umidade antecedente, de características químicas ou estruturais do solo e da cobertura vegetal. A água que infiltra, percola para o aquífero ou provoca o escoamento subsuperficial nos canais internos do solo, até aflorar na superfície ou encontrar algum curso d'água.

Conforme Pritchett (1979), a taxa de infiltração do solo na floresta é alta, o que produz baixo escoamento superficial, diferentemente de solos sem cobertura vegetal e/ou compactados em que a capacidade de infiltração diminui de maneira drástica, aumentando assim o escoamento superficial. A Figura 4 apresenta o esquema referente à vazão em cursos d'água e seus desdobramentos.

Figura 4 – Esquema gráfico da formação da vazão em cursos d'água.



Fonte: Calasans; Levy; Moreau, 2002.

O escoamento acontece pela ação da gravidade criada pelo desnível entre as encostas¹, a qual supera a força de atrito que existe entre a água e a superfície do solo; a água escoar por caminhos preferenciais, induzidos pelo relevo preexistente até chegar aos cursos d'água, operando como agente modelador do terreno por meio dos processos erosivos naturais. É importante ressaltar que a presença de vegetação na superfície do solo pode prevenir o processo erosivo na medida em que colabora com o processo de infiltração, além de reduzir a energia cinética associada ao impacto das gotas de água.

¹ As encostas são espaços físicos situados entre os fundos de vales e os topos da superfície, e que definem as amplitudes do relevo juntamente com os seus gradientes topográficos (COELHO NETTO, 2008).

Figura 5 – Esquema de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Centro de ensino Guroo, 2018.

O conceito de bacias hidrográficas tem se difundido cada vez mais e vem sendo utilizado como unidade de gestão da paisagem no campo do planejamento ambiental; do ponto de vista da pesquisa hidrológica é a unidade mais adequada para pesquisas qualitativas e quantitativas sobre o direcionamento dos fluxos hídricos e sedimentos. Para Rodrigues e Adami (2005), a bacia hidrográfica pode ser definida como sendo:

[...] um sistema que compreende um volume de materiais predominantes sólidos e líquidos, próximo a superfície terrestre, delimitado interno e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais. Inclui, portanto, todos os espaços de circulação, armazenamento e de saídas de água e do material por ela transportado, que mantém relações com esses canais (p.147).

Essencialmente, é um conjunto de vertentes e redes de drenagem formadas por cursos de água que confluem até resultar em um único leito, no exutório. Do ponto de vista da conservação dos recursos naturais, a definição tem sido ampliada para se estender além dos aspectos da hidrologia, abarcando informação sobre a

composição biofísica da bacia e as alterações nos padrões de uso da terra, além das implicações ambientais. Nesse sentido, diversos autores enfatizam a importância do conceito de bacia hidrográfica de forma análoga ao conceito de Ecossistema, tanto como unidade prática em pesquisa quanto em gestão ambiental, ou seja, é vista como uma unidade ecossistêmica e morfológica que integra os conflitos das intervenções antrópicas sobre os recursos hídricos (JENKINS et al., 1994).

Mudanças significativas nas condições naturais e nos comportamentos das bacias hidrográficas causados por processos naturais ou atividades humanas podem alterar e/ou afetar seu fluxo de energia, o que irá acarretar em desequilíbrios ambientais e a consequente degradação da paisagem; nesse processo, a erosão do solo é particularmente proeminente. No Quadro 1, estão representadas as principais classificações sobre a mudança e uso do solo e os impactos sobre o escoamento.

Quadro 1 – Classificação sobre a mudança de uso do solo.

Classificação	Tipo	Principais impactos sobre o escoamento
Mudança da superfície	Desmatamento	Aumento da vazão média, aumento ou diminuição da vazão mínima
	Reflorestamento	Redução do escoamento médio, capacidade erosiva
O uso da superfície	Urbanização	Redução da infiltração no solo, aumentando o escoamento superficial, reduzindo o escoamento subterrâneo, redução da evapotranspiração. Aumento das vazões máximas e na produção de sedimentos, e a deterioração da qualidade da água.
	Reflorestamento para exploração sistemática	Redução do escoamento médio, impacto da construção de estradas e aumento da capacidade erosiva gerada pela superfície desprotegida após a extração
	Culturas agrícolas de subsistência e permanentes	Intensidade pequena ou intermediária.

Continua.

Cont. do Quadro 1.

O uso da superfície	Culturas anuais	Intensidade alta, pois prevê a preparação do solo (aragem) antes do período chuvoso. O plantio sem nenhum cuidado tende a aumentar a erosão e o escoamento.
Método de alteração	Manual	Menor impacto, porém, dispendioso.
	Equipamentos	Compactação do solo, reduzindo a infiltração de água no solo.

Fonte: Tucci, 2005.

Os impactos de maior ocorrência e que ameaçam a qualidade ambiental em bacias hidrográficas estão relacionados às atividades não sustentáveis, que não calculam os custos ambientais e sociais para obter lucros imediatos. Os impactos mais comuns em bacias hidrográficas estão relacionados à erosão do solo, sedimentação de rios navegáveis, inundações, perda de qualidade da água, etc. Diante desse contexto, é extremamente importante contrapor esses problemas ambientais por meio de um modelo de gestão abrangente e eficiente para estabelecer medidas de proteção e gestão dos recursos naturais.

3.2 Erosão enquanto processo natural e a erosão acelerada

A superfície da terra, onde se desenvolve a quase totalidade das atividades humanas, é, em geral, coberta por solos e sua formação se dá através da transformação das rochas e de processos pedogenéticos liderados por agentes físicos, químicos e orgânicos. Suguio (1998) compreende o processo de erosão da seguinte forma:

Conjunto de processos que atuam na superfície terrestre, levando à remoção de materiais minerais e rochas decompostas. Quando a água constrói o agente essencial o processo de dissolução torna-se muito importante. Os principais agentes de remoção física e transporte durante os processos de erosão são os seguintes: eólico, fluvial, marinho e glacial (p. 276).

Braghioli (2015) enfatiza que “os processos erosivos são responsáveis pela esculturação do relevo, sendo um processo natural e de extrema importância para a evolução das formas superficiais, pois ele é responsável pela remoção, transporte e deposição do sedimento” (p. 31). A erosão acelerada é uma das maiores ameaças

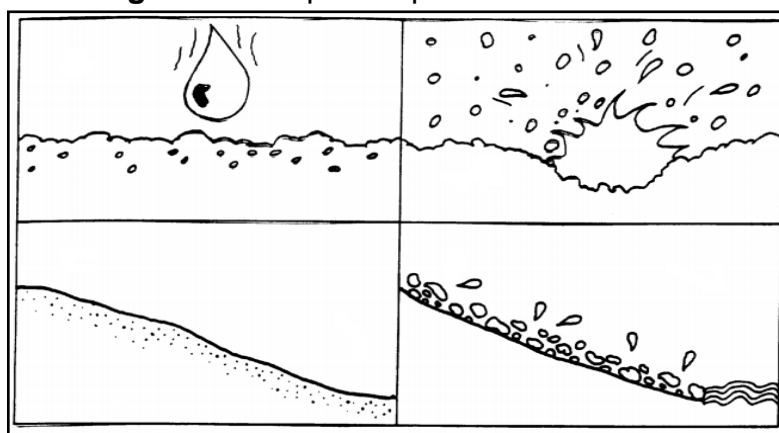
ao desenvolvimento sustentável e à produtividade agrícola, uma vez que a perda de solo devido à erosão aumenta os custos de produção, pois exigem cada vez mais correções e fertilizantes além de restringirem o proveito operacional das máquinas. No meio rural, além de partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial também carrega nutrientes, matéria orgânica, sementes e agrotóxicos que não só causam o empobrecimento gradativo dos solos agrícolas, mas também aumentam os custos de produção, podendo até levar ao abandono de áreas anteriormente produtivas (visto que proporciona gradualmente a perda de camadas férteis do solo - horizontes O e A, onde é encontrada a maior parte da matéria orgânica), além do comprometimento da qualidade dos recursos hídricos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Já no ambiente urbano, a grande parte dos focos erosivos que se desenvolvem é originada pelo lançamento de águas de chuva e esgoto, diretamente ou pelo arruamento. Dependendo das propriedades do terreno e da infraestrutura local, o escoamento superficial tem capacidade para provocar o desenvolvimento de processos erosivos de grande porte, que prejudicam gravemente o ambiente urbano.

3.2.1 Erosão pluvial ou hídrica

A erosão pluvial acontece em quatro fases: impacto das gotas da chuva, desagregação das partículas do solo, transporte e deposição dos sedimentos, a exemplo da Figura 6.

Figura 6 – Etapas do processo de erosão.



Fonte: Derpsch et al., 1991.

Esse tipo de erosão ocorre sobretudo em áreas de clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados que em outras partes do planeta e

tendem a acelerar na medida em que as terras são desmatadas, já que com os solos sem cobertura vegetal as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno (GUERRA et al., 1999). A erosão pluvial está profundamente ligada ao ciclo hidrológico, que é responsável por todo o processo de transferência da água da chuva para as camadas superficiais e subterrâneas, armazenamento, escoamento e, possivelmente, retorno para a atmosfera pela evapotranspiração.

O principal agente que desencadeia os processos de erosão superficial, subsuperficial e subterrânea é a água. A ação desencadeadora e a capacidade de remoção dos sedimentos exercidos pela água e pelo gelo promovem a desagregação das partículas do solo, que se deslocam de sua posição original para áreas onde há redução ou ausência das forças de arrasto (CAMARGO, 2012).

Os impactos dos processos erosivos sobre os recursos hídricos podem acontecer em nível local e regional, e estão relacionados principalmente aos seguintes aspectos: mudanças hidráulicas fluviais e dinâmicas de sedimentação dos rios; assoreamento de rios e reservatórios; poluição da água por pesticidas e resíduos sólidos; redução da produção primária e dos recursos pesqueiros, entre outros.

Em áreas agrícolas não apenas remove o solo fértil, mas também reduz a qualidade e quantidade da água ao assorear córregos, rios e reservatórios. O assoreamento é o nome técnico que se dá ao acelerar o processo de deposição de sedimentos em áreas mais baixas (como fundos de vales, rios, oceanos ou outros locais onde o nível de base de drenagem permite o processo de deposição). Pode alterar as condições hidráulicas dos corpos d'água (provocando inundações e diminuindo a capacidade de armazenamento), leva à destruição de ecossistemas (ocasionado pelo carreamento de poluentes químicos e aumento da turbidez) e prejuízos para o abastecimento e produção de energia (SALOMÃO & IWASA, 1995). O assoreamento e a erosão são dois processos diretamente proporcionais à dinâmica da bacia hidrográfica: quando a erosão aumenta, o assoreamento em algum ponto a jusante da bacia também aumenta.

As mudanças introduzidas no ambiente natural são decorrentes do esforço ou desgaste exercido pelo sistema e do grau de sensibilidade imposto às alterações, promovendo assim o processo de reajuste em torno do equilíbrio dinâmico. Os sistemas naturais tentam entrar em equilíbrio de acordo com as condições e

intensidades dos processos que ocorrem naquele lugar, dessa forma, sabe-se que o fator antrópico não tem a capacidade criar os processos, mas sim de alterá-los e dessa forma mudar as suas relações (DREW, 1989).

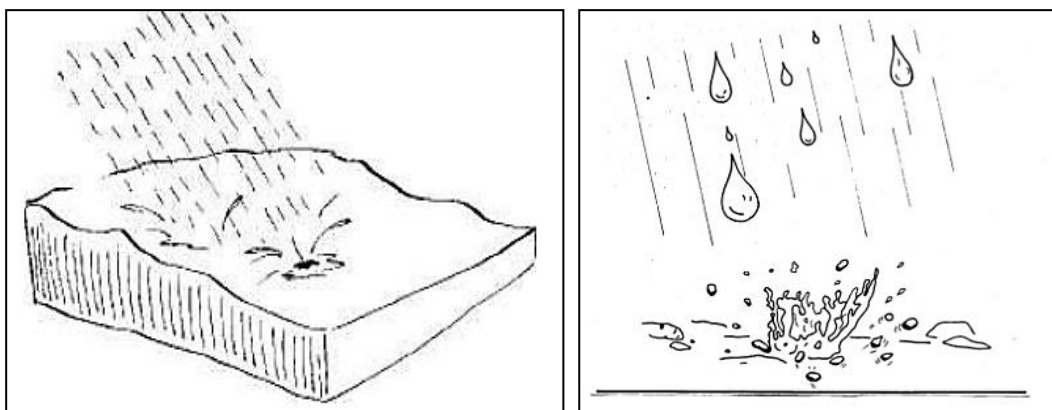
Se há alteração nos fluxos de matéria ou energia, conseqüentemente o ambiente tenta se equilibrar criando novas feições, como acontece no caso das formas erosivas oriundas da ação das chuvas, pois mesmo que a quantidade e intensidade da chuva no tempo histórico continue a mesma, as intervenções na superfície alteram o balanço de infiltração e escoamento, e a partir disso se desenvolvem as erosões como forma da água continuar seguindo seu curso.

Os processos erosivos pluviais podem atingir dois locais principais: as encostas (erosão laminar e erosão linear) e ao longo dos canais dos rios (erosão fluvial). Em relação à erosão das encostas, três tipos podem ser distinguidos: erosão por saltitação, laminar e linear.

3.2.1.1 Energia cinética da chuva e a ruptura dos agregados

A energia cinética determina a erosividade, que é a capacidade da chuva de causar erosão. A Figura 7 exemplifica esse processo.

Figura 7 – Impacto pela chuva e saltitação (splash).



Fonte: IIRR, 2008.

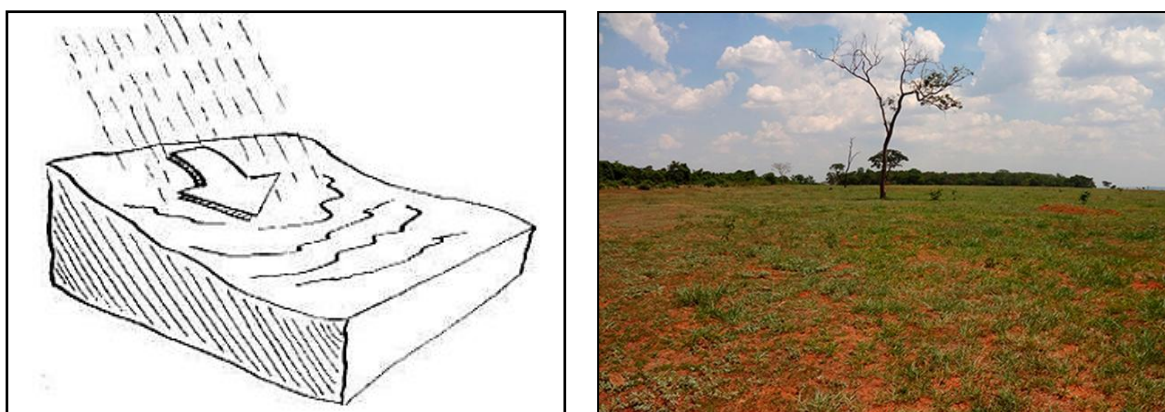
Farres (1978) destaca que a evolução da quebra dos agregados começa com o impacto das gotas de chuva e, uma vez ultrapassada a resistência interna à energia cinética das gotículas, a tendência é que os agregados se rompam formando pequenas partículas, e estas, passam a completar os poros existentes na camada superficial do solo, dando início ao desenvolvimento de crostas na superfície do terreno que acabarão favorecendo o escoamento superficial.

A erosão por salpico ou saltitação é o primeiro estágio dos processos erosivos superficiais, e a partir dela são estabelecidas as condições necessárias para a ativação dos processos de natureza laminar e linear. Quando a água flui pela encosta, pode seguir lavando a superfície do terreno sem desenvolver canais definidos (erosão laminar) ou podem concentrar cada vez mais até culminar em enxurradas com alta capacidade de remover novas partículas do solo e de transportar grandes quantidades de material solto por meio de fluxos lineares (erosão linear).

3.2.1.2 Erosão laminar

A característica desse tipo de erosão é que as partículas se desagregam da superfície do solo e são arrastadas em uma camada uniforme, sendo um processo erosivo desencadeado pelo escoamento superficial difuso (GUERRA, 1999). É dificilmente perceptível, mas pode ser confirmada pela coloração mais clara dos solos, aparição de raízes ou mesmo a redução da produtividade agrícola (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Entende-se que seja mais recorrente em áreas agrícolas e passa despercebida, pois retira lentamente o horizonte superficial do solo, conforme ilustra a Figura 8. Provoca, portanto, um impacto ambiental imediato, tanto pela grande quantidade de solo removido quanto pela dificuldade de recuperação.

Figura 8 – (a) Modelo de erosão laminar (b) Exemplo de erosão laminar.



Fonte: (a) IIRR (2008), (b) Bayma / Embrapa.

Esta dinâmica erosiva é regulada principalmente pela ação da água superficial no terreno onde as taxas de escoamento excedem a permeabilidade do solo. Esse tipo de feição erosiva é uma das formas mais nocivas, pois remove a

camada superficial do solo, onde se encontram matéria orgânica, nutrientes e insumos agrícolas benéficos à produção agrícola.

3.2.1.3 Erosão linear

A erosão linear corresponde às formas de erosão originadas pelo escoamento superficial concentrado e pode formar sulcos, ravinas e voçorocas.

- a) Sulcos (Figura 9): Geralmente, sua profundidade e largura são inferiores a 50 cm e suas bordas apresentam pequenas rupturas na superfície do terreno (DAEE, 1990).

Figura 9 – (a) Modelo de formação de sulcos (b) Exemplo de sulco.



Fonte: (a) IIRR (2008); (b) Matias/ Brasil Escola.

- b) Ravinas (Figura 10): Pode ser definido como “o processo erosivo pelo qual o fluxo superficial se acumula em canais, de forma frequentemente recorrente e em períodos curtos, removendo o solo dessa área até profundidades consideráveis” (FRANCO, 2015, p.17).

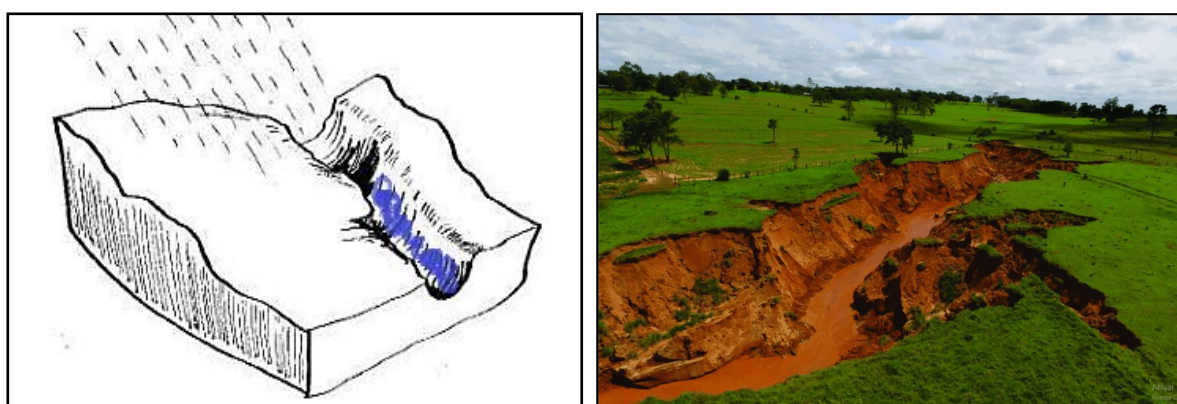
Figura 10 – (a) Modelo de formação de ravinas (b) Exemplo de ravina.



Fonte: (a) IIRR (2008), (b) iStock (2007).

c) Voçorocas (Figura 11): As voçorocas são classificadas como incisões que exibem profundidades maiores que 0,5 m (GUERRA, 1994) e são desenvolvidas pelo aprofundamento das ravinas até a interceptação com o lençol freático, onde se pode identificar à ação erosiva conjunta das águas superficiais com as subsuperficiais (RODRIGUES, 1982). Na prática, o que diferencia as ravinas das voçorocas (estágio mais avançado do processo erosivo) é que o primeiro caso, os canais/incisões não atingem o lençol freático.

Figura 11 – (a) Formação de voçorocas (b) Exemplo de voçoroca.



Fonte: (a) Adaptado de IIRR (2008); (b) G1 (2018).

Fullen e Catt (2004) advertiram que a definição e distinção entre ravinas e voçorocas poderia ser controversa e chegaram ao consenso de que, enquanto as ravinas tendem a fazer incisão, especialmente no horizonte A, as voçorocas alcançam com facilidade os horizontes B e C, podendo chegar até a rocha matriz, dependendo da força do processo erosivo. Para Goudie (1985) diferentemente das ravinas, as voçorocas não podem ser obliteradas por maquinários.

Geralmente, a erosão em áreas urbanas é causada pelo lançamento de água da chuva e esgoto no solo (diretamente ou por meio do traçado das ruas) e dependendo das características do terreno e das condições de infraestrutura local, o escoamento superficial tem capacidade para provocar o desenvolvimento de processos erosivos de grande porte, causando sérios prejuízos ao ambiente urbano. Por outro lado, as ravinas e voçorocas rurais, são ocasionadas pelo desmatamento e pelo manejo inadequado do solo, que acabam alterando o comportamento hidrogeomorfológico regional e afetando diretamente o processo erosivo.

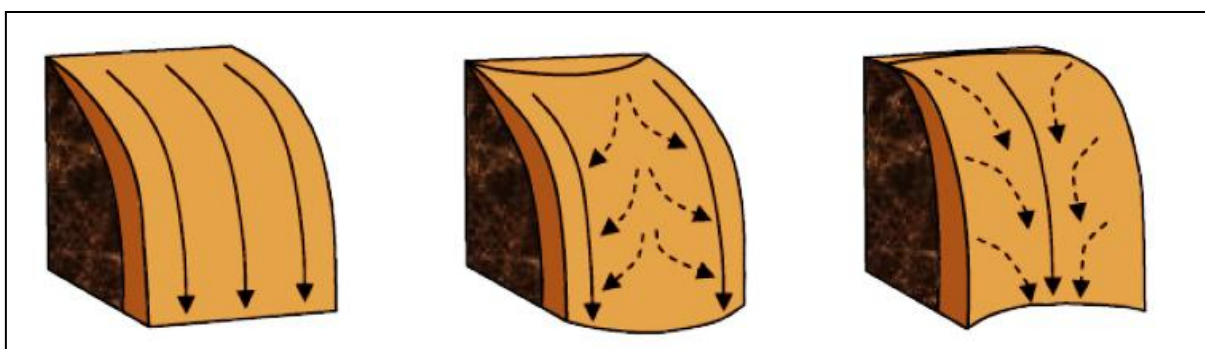
3.2.2 Fatores que influenciam nos processos erosivos

3.2.2.1 A variável relevo no processo erosivo

O relevo influencia a erosão do solo principalmente pela declividade e pelo comprimento de rampa (GUERRA et al., 1999) já que esses fatores interferem diretamente na velocidade das enxurradas. De acordo com Hillel (1998) as superfícies planas podem ter pouca ou nenhuma enxurrada e, conseqüentemente, pouco transporte de solo ocorre. Enquanto que as enxurradas de áreas mais inclinadas escorrem numa maior velocidade e podem ter uma significativa capacidade para transporte.

Assim, quando se avalia as formas das encostas é possível inferir que as vertentes convexas provocam divergência do escoamento e conseqüentemente se tornam menos suscetíveis as erosões lineares (indicado na Figura 12).

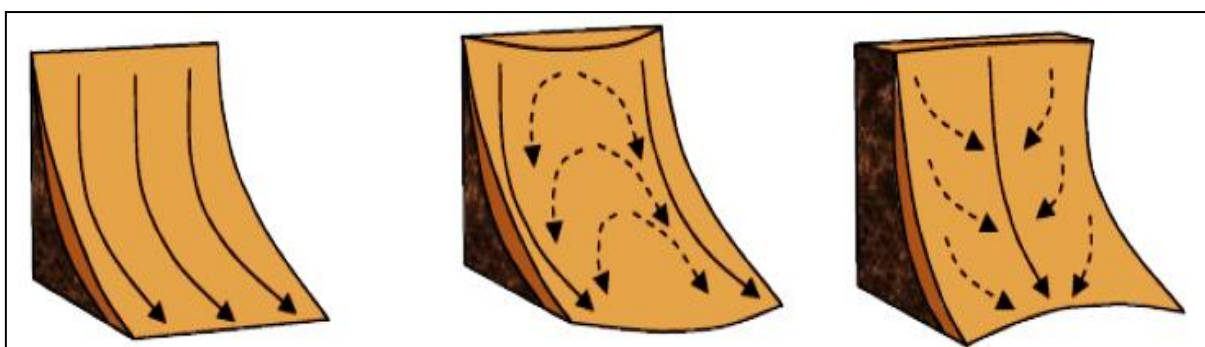
Figura 12 – Perfil de encostas convexas.



Fonte: Nishyama (1995).

Nas formas côncavas, por concentrarem o escoamento superficial, são as mais suscetíveis à formação de voçorocas (Figura 13).

Figura 13 – Perfil de encostas côncavas.



Fonte: Nishyama (1995).

Além do declive, o comprimento da rampa também é um fator importante a ser considerado, pois conforme a distância percorrida pelo fluxo, o volume de água e

a vazão aumentam progressivamente. Portanto, quanto maior o volume da enxurrada haverá um aumento da energia cinética, o que por sua vez resulta em maior erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Deve-se ainda considerar os aspectos morfológicos.

3.2.2.2 Tipos de solos

Diferentes tipos de solo podem apresentar suscetibilidades diferenciadas à erosão, ainda que em condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal, clima e práticas de manejo. Essas diferenças são derivadas das características do próprio solo e são conhecidas como erodibilidade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985). No Quadro 2 são expressos os principais fatores que influenciam na suscetibilidade dos solos face aos processos erosivos.

Quadro 2 – Fatores que influenciam na suscetibilidade dos solos.

Propriedades	Fatores	Características
Mecânicas	Textura	<ul style="list-style-type: none"> ○ Influi no destacamento e carreamento de partículas do solo. ○ Determina a facilidade com que o solo é disperso. ○ Determina a força-limite necessária para o destacamento.
	Estrutura	<ul style="list-style-type: none"> ○ Formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento. ○ Grau de agregação e distribuição de agregados estáveis. ○ Tamanho dos agregados.
Mecânicas	Tamanho dos torrões e cultivos do solo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Resistência à desagregação pela chuva e erosão pelo vento.
	Formação de crosta	<ul style="list-style-type: none"> ○ Responsável pela alta taxa de escoamento superficial. ○ Desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica
Resistência	Resistência ao cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> ○ Importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial). ○ Rolamento e deslizamento de grãos.

Continua.

Continuação do Quadro 2.

Hidrológicas	Retenção de água	<ul style="list-style-type: none"> ○ O estado de energia da água do solo ou pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo. ○ Resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial ou antecedente. ○ Solos secos são mais susceptíveis à erosão pelo vento e pela água do que solos úmidos. ○ A umidade fornece coesão entre as partículas.
	Transmissão de água no solo-infiltração	<ul style="list-style-type: none"> ○ Taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial.
	Permeabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ○ Solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada geram mais escoamento superficial.
Reológicas	Sistema solo/água	<ul style="list-style-type: none"> ○ A umidade do solo influi na suscetibilidade à erosão por afetar a coesão, a resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade.
Químicas e mineralógicas	Matéria orgânica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Influencia a distribuição granulométrica, propriedades de retenção e transmissão de água. ○ Fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros. ○ Diminui o efeito de compactação. ○ Concentração de matéria orgânica nos micro-agregados aumenta a sua resistência à desagregação (“Slacking”) e à dispersão. ○ Elevadas concentrações de M.O. Em alguns solos são responsáveis pelas características hidrofóbicas.
	Argilo-minerais	<ul style="list-style-type: none"> ○ A estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilo-minerais. ○ A fração fina do solo interage com a matéria orgânica para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas da chuva.
Características do perfil	Diretos e indiretos	<ul style="list-style-type: none"> ○ Influencia a erosão direta e indiretamente. ○ Influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes. ○ Influência sobre o crescimento vegetal.

Fonte: Lal (1990) / Adaptado por Cadernos LOGEPA (2003).

As propriedades físicas do solo (principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade) e as propriedades químicas e biológicas exercem efeitos distintos sobre o processo erosivo, por exemplo, solos arenosos são mais suscetíveis à erosão e, embora sejam mais permeáveis, geralmente são muito soltos, o que favorece o trabalho das águas.

3.2.2.3 *Clima*

Durante e após ocorrer a precipitação, a água que não infiltrou escoou pela vertente e seu volume está associado ao total de precipitação, intensidade da chuva e às características físicas do solo, como saturação do solo, porosidade, textura e profundidade (BELTRAME, 1994).

Um conceito importante é o de erosividade, sendo o potencial da chuva em causar erosão do solo e depende apenas das características físicas da própria chuva, incluindo a quantidade, intensidade, diâmetro de gota, velocidade final e energia cinética da chuva. Conhecer o índice de erosividade da chuva em uma determinada localidade permite um melhor planejamento em relação ao uso e manejo da terra, determinando melhores períodos para o plantio e adoção de práticas conservacionistas.

3.2.2.4 *Cobertura vegetal e proteção do solo*

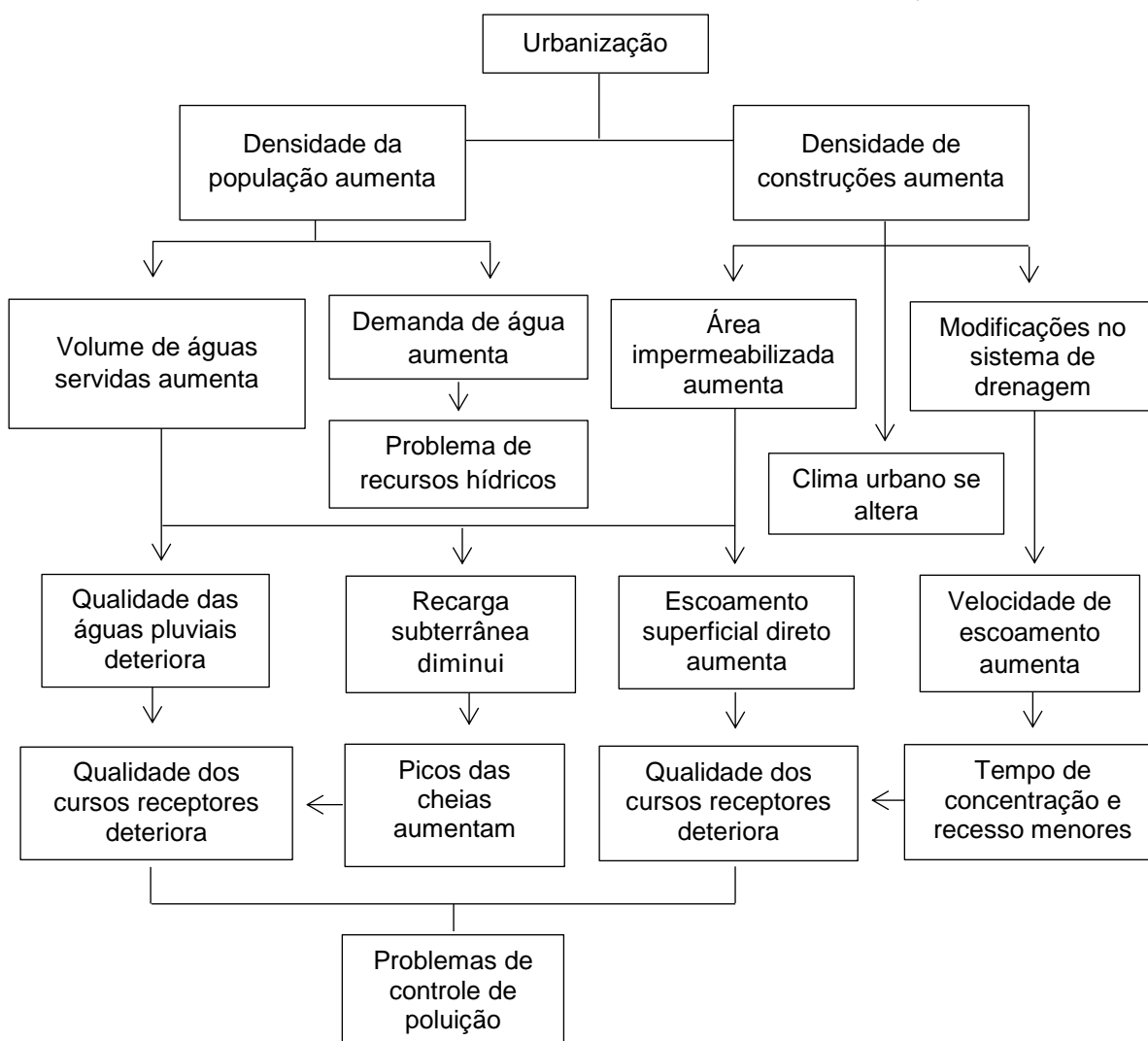
Os impactos positivos da biomassa no controle da erosão são geralmente atribuídos à redução da energia cinética das gotas de chuva e conseqüentemente da redução da velocidade de escoamento (PUIGDEFÁBREGAS, 2005), além de estruturar o solo pela dispersão de suas raízes e manter a fertilidade e umidade do solo por meio da matéria orgânica. Ao mesmo tempo, a presença de cobertura vegetal altera propriedades intrínsecas do solo, como a erodibilidade.

Tanto a matéria orgânica quanto a microfauna e fungos podem melhorar a formação de agregados estáveis, afetando a condutividade hidráulica e, assim, a capacidade de armazenamento de água (BOER & PUIGDEFÁBREGAS, 2005), o que pode aumentar a resistência ao cisalhamento do solo. A vegetação é considerada um fator chave na prevenção da erosão, pois a presença de resíduos vegetais na superfície do solo aumenta a rugosidade hidráulica, diminuindo a velocidade do escoamento superficial (VOLK et al., 2004).

3.2.2.5 Ação antrópica

As intervenções antrópicas relacionadas ao fenômeno da urbanização vêm desdobrando-se em diversos e graves problemas de ordem ambiental. Isso se dá principalmente em função das ineficientes políticas de gestão e planejamento físico-territorial. A Figura 14 demonstra os principais processos decorrentes da urbanização.

Figura 14 - Processos ocorridos devido à urbanização.



Fonte: Tucci (1993).

À medida que a urbanização e a densificação da bacia hidrográfica aumentam, a produção de sedimentos pode diminuir, mas surge outra questão: a geração de resíduos sólidos que pode obstruir ainda mais a drenagem e cria condições ambientais mais severas. Rodrigues (1982) observa que a intervenção do homem, a permeabilidade do solo e o clima são os fatores mais importantes para

explicar o fenômeno erosivo e embora a erosão seja um processo natural, fica claro que o ser humano tem provocado alterações que agravam e aceleram o desenvolvimento dos fenômenos erosivos tanto no ambiente urbano quanto rural.

A remoção da cobertura natural do solo, sua compactação por maquinários agrícolas e impermeabilização em áreas urbanas, tem alterado e intensificado os processos de escoamento superficial, erosão e assoreamento dos corpos hídricos, constituindo o debate em torno de sistemas adequados de gestão integrada das águas como primordial (TUNDISI, 2006; PIROLI, 2016). O Quadro 3 exemplifica os fatores responsáveis pela degradação dos solos em áreas rurais.

Quadro 3 – Classificação dos fatores de degradação dos solos em áreas rurais.

	Ações antrópicas	Condições naturais
Fatores facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desmatamento; ○ Permissão do superpastoreio; ○ Uso excessivo da vegetação; ○ Talude de corte; ○ Remoção da cobertura vegetal para o cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Topografia; ○ Textura do solo; ○ Composição do solo; ○ Cobertura vegetal; ○ Regimes hidrográficos.
Fatores diretos	<ul style="list-style-type: none"> ○ Uso de máquinas; ○ Condução do gado; ○ Encurtamento do pousio; ○ Entrada excessiva de água/drenagem insuficiente; ○ Excesso de fertilização ácida; ○ Uso excessivo de produtos químicos/ estrume; ○ Disposição de resíduos domésticos/ industriais. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Chuvas fortes; ○ Alagamentos; ○ Ventos fortes.

Fonte: FAO (1980) citado por Araújo; Almeida; Guerra (2011).

Embora processos erosivos ocorram de forma natural, sem intervenção humana, na prática o início e/ou aceleração dos processos acontecem por atividade antrópica, com a supressão da cobertura vegetal natural e alterações na estrutura do solo. Em áreas urbanas, podemos considerar que a erosão avança especialmente nos setores de expansão das cidades (áreas periurbanas). A abertura de novos

loteamentos exige grande movimentação e exposição de solos que sem a devida proteção da cobertura vegetal e das camadas superficiais acabam se tornando muito mais vulneráveis.

3.3 O uso dos Sistemas de Informação Geográfica na modelagem ambiental e sua aplicação na geomorfologia e planejamento ambiental

A geomorfologia é uma ciência que objetiva analisar as formas de relevo e os materiais para entender as relações processuais passadas e atuais. Assim, amparado ao estudo das formas, materiais e processos, a Geomorfologia como elemento da ciência geográfica, se constitui em importante ajuda para a compreensão racional das formas de apropriação do relevo. Ainda, a ação indireta do homem, ao suprimir a interface - representada pela cobertura vegetal - pode alterar significativamente a relação entre as forças de ação (processos morfodinâmicos) e de reação dos materiais superficiais ou substrato, provocando desequilíbrios no balanço morfogenético, e diversas vezes apresentando efeitos geoambientais (movimentos de massa, voçorocamento e assoreamento) que chegam a ser catastróficos. Nesse sentido, a geomorfologia tem se tornado particularmente importante para determinar os diferentes níveis de risco em uma determinada área e fornecer subsídios ou recomendações quanto às formas racionais de ocupação. Em suma, é pertinente afirmar que:

A potencialidade aplicativa do conhecimento geomorfológico insere-se, portanto, no diagnóstico das condições ambientais, contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas. (CHRISTOFOLETTI, 2001, p. 416).

As abordagens e técnicas geomorfológicas para o entendimento das relações socioambientais são diversas, porém, partiremos do pressuposto de que o mapeamento pode ser considerado uma das mais importantes de todas elas, pois consiste em um instrumento de espacialização em que é possível criar deduções e associações com a gênese das formas do relevo e suas relações com as estruturas e processos e ainda, com as influências antrópicas diretas e indiretas. Nesse sentido,

[...] o homem, como ser social, interfere criando novas situações ao construir e reordenar os espaços físicos com a implantação de cidades, estradas, atividades agrícolas, instalações de barragens, retificações de canais fluviais, entre inúmeras outras. Todas essas modificações inseridas

pelo homem no ambiente natural alteram o equilíbrio de uma natureza que não é estática, mas que apresenta quase sempre um dinamismo harmonioso em evolução estável e contínua, quando não afetada pelos homens (ROSS, 2012, p. 12).

A Geomorfologia Ambiental pode ser entendida como a aplicação do conhecimento geomorfológico ao planejamento ambiental e através dela pode ser feito o levantamento dos recursos naturais, análise do terreno, avaliação das formas e propriedades químicas e físicas do solo, monitoramento dos processos geomorfológicos, análises laboratoriais, diagnóstico ambiental e a produção dos mapas de riscos.

Desta forma, a Geomorfologia Ambiental busca compreender a superfície terrestre por meio de uma abordagem abrangente, na qual o meio ambiente (natural ou transformado pelo homem) é o ponto de partida. Para tal, a cartografia geomorfológica aparece como um importante meio de representação do relevo e de acordo com diferentes estudiosos (TRICART, 1965; LIBAULT, 1975), é um dos principais métodos para o estudo e pesquisa geomorfológica além de ser amplamente utilizadas no planejamento ambiental. A cartografia, com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilita ainda a realização da modelagem, que no contexto dos estudos geomorfológicos e mais especificamente dos processos erosivos, constitui em uma importante ferramenta para diagnósticos e prognósticos ambientais e conseqüentemente, pode oferecer subsídios à tomada de decisões relacionadas ao uso e manejo adequado dos solos e à preservação dos recursos hídricos, uma vez que permite a identificação de áreas mais e menos suscetíveis.

Dentre as inúmeras definições oferecidas, aquela proposta por Câmara (2005, p. 22), se destaca expressando que “um sistema de informação geográfica é um conjunto integrado de programas (software) especificamente elaborados para serem utilizados com dados geográficos, executando espectro abrangente de tarefas no manuseio dos dados”. Para o autor, há ao menos três maneiras de empregar um Sistema de Informação Geográfica (SIG): (a) ferramenta de produção de mapas; (b) suporte para análise espacial dos fenômenos e (c) banco de dados geográficos com funções de armazenamento.

Atualmente são encontrados diversos softwares de SIG (com características e limitações conforme o objetivo do trabalho) como o ArcGis, GRASS, IDRISI, SPRING, Quantum GIS, Terra View, entre outros. O SIG permite que diferentes

níveis de informações sejam combinados para melhor análise dos dados. As ferramentas encontradas nesse ambiente são capazes de realizar a ponderação de fatores nos cruzamentos das informações, sendo essas no formato *raster* ou *vetorial*, e possibilita a obtenção de mapas temáticos de análise de riscos, potencialidades e suscetibilidades.

Para além da preparação e manutenção de bancos de dados geocodificados, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a gestão ambiental de bacias hidrográficas também envolve muitas outras atividades, das quais podem ser obtidas diversas informações espaciais e estatísticas sobre as características da unidade de pesquisa (pedologia, uso da terra, hidrologia, cobertura vegetação, e outros). Esta base de dados georreferenciados ajuda a desenvolver modelos para o diagnóstico das paisagens a partir de perspectivas ecológicas e ambientais; prever os riscos associados à característica dos elementos ambientais da água, solo, ar e biodiversidade (PIRES, 1995); determinar a fonte e área receptora de poluentes; e, analisar a resposta às modificações na estrutura ambiental. No Quadro 4, estão apontados alguns dos modelos preditivos para estimar a perda de solo e produção de sedimentos.

Quadro 4 – Modelos preditivos para estimativa de perda de solo e de produção de sedimentos.

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Outputs	Referência
USLE	Empírico	Encosta	Anual	Erosão	Wischmeier e Smith, 1978
MUSLE	Empírico	Encosta / Bacia hidrográfica	Evento	Perda de sedimento	Williams, 1975
RUSLE	Empírico	Encosta	Anual	Erosão	Renard et al., 1991
CREAMS	Físico	Parcelas / Campo	Evento / Contínua	Erosão, deposição	Knisel, 1985
WEPP	Físico	Encosta / Bacia hidrográfica	Contínua	Escoamento superficial, erosão, produção de sedimento	Flanagan e Nearing, 1995
KINEROS	Físico	Encosta / Pequenas bacias hidrográficas	Evento	Escoamento superficial, taxa de pico, erosão, produção de sedimento	Woolhiser et al., 1990

Continua.

Cont. do Quadro 4.

WESP	Físico	Pequenas bacias hidrográficas	Contínua	Escoamento superficial, taxa de pico, erosão, produção de sedimento	Lopes, 1987
LISEM	Físico	Pequenas bacias hidrográficas	Evento	Escoamento superficial, produção de sedimento	De Roo e Jetten, 1999
AGNPS	Conceitual	Pequenas bacias hidrográficas	Evento / Contínua	Escoamento superficial, taxa de pico, erosão, produção de sedimento	Young et al., 1989
SWAT	Conceitual	Bacia hidrográfica	Contínua	Escoamento superficial, taxa de pico, erosão, produção de sedimento	Arnold et al, 1998

Fonte: Adaptado de Merrit et al., 2003.

Para este trabalho, foi aplicado o modelo da *Universal Soil Loss Equation* (USLE) ou Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) para a análise dos processos erosivos laminares e a proposta metodológica de análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados (Ross 1990, 1994, 1995 e 1996) para os processos lineares.

3.3.1 Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS

Os primeiros estudos de predição de perdas de solo por erosão datam de 1940 na região do Corn Belt, nos Estados Unidos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). O modelo mais conhecido e empregado para a estimativa de erosão laminar é a EUPS, sistematizada por Wischmeier e Smith em 1978.

No Brasil, os primeiros trabalhos sobre a EUPS foram elaborados por Bertoni et al. (1975) utilizando os dados existentes para o Estado de São Paulo e a partir de então, vários autores vêm tentando avaliar os fatores da equação para outras regiões. É importante lembrar que a aplicação dessa equação somente prediz a quantidade de perda de solo resultante da erosão por escoamento superficial, deste

modo, não explica às perdas adicionais de solos que ocorram por ação dos rios ou mesmo do vento. Segundo Fernandes (2016),

Ela tem sido muitas vezes utilizada para estimar taxas de erosão derivadas de processos diferentes daqueles para os quais ela foi desenvolvida (erosão laminar), chegando muitas vezes a ser utilizada para estimar taxas de erosão por voçorocamento (p. 221).

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) é um modelo matemático que estima as perdas anuais médias de solo em longo prazo, numa determinada área sob um determinado uso e leva em consideração os fatores mais significativos de condicionamento da erosão, quais sejam: topografia (declividade e extensão de vertentes), tipos de solo, potencial erosivo da chuva (intensidade e frequência), o uso e manejo da terra, e as práticas conservacionistas. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1995, p. 250), a equação é expressa da seguinte forma $A = R.K.L.S.C.P$, sendo:

- A - Perda de solo calculada, em t/ha/ano;
- R - Fator erosividade: é definido como um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de erodir o solo de um terreno sem cobertura vegetal;
- K- Fator erodibilidade: busca evidenciar a facilidade com que determinado solo erode, a partir do impacto da chuva e/ou escoamento superficial;
- L - Índice relativo ao comprimento da vertente ou rampa e S - índice relativo à declividade média da vertente ou rampa: influem diretamente sobre a velocidade do escoamento superficial;
- C - Índice relativo ao uso e manejo da terra: expressa a relação esperada entre perdas de solo em áreas com diferentes tipos de uso/coberturas e áreas continuamente descobertas, e;
- P - Índice relativo à prática conservacionista adotada: expressa a relação entre a perda de solo esperada em uma cultura submetida a uma determinada prática conservacionista e a perda que ocorreria mantendo-se as mesmas condições, porém sem a adoção de pedidas de conservação.

Para tal, foi empregado o software *Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs* (InVEST) que é um conjunto de ferramentas de modelagem para serviços ambientais e dentre os seus distintos módulos, o *Sediment Delivery Ratio* (SDR) utiliza a Equação Universal de Perdas de Solo, para avaliar o potencial

de perda de solo e a capacidade de exportação/ retenção de sedimentos de uma bacia hidrográfica (TALLIS et al., 2011). A Figura 15 está demonstra a interface do SDR.

Figura 15 - Interface do módulo SDR da ferramenta InVEST.



Organizado pela autora.

3.3.2 Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados

Ross (1990), a fim de aperfeiçoar o conceito de Unidades Ecodinâmicas e torná-lo aplicável no planejamento ambiental, introduziu novos critérios e definiu as Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis. O Quadro 5 apresenta as diferenças conceituais entre Tricart (1977) e Ross (1994).

Quadro 5 – Diferenças entre Tricart (1977) e Ross (1994).

Autores	Proposta metodológica	Conceituação	
		Ambientes naturais	Ambientes Antropizados
Tricart, 1977	Ecodinâmica	Unidades Estáveis	Unidades Instáveis

Continua.

Cont. do Quadro 5.

Ross, 1994	Fragilidade ambiental	Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial ou Unidades de Fragilidade Potencial	Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente ou Unidades de Fragilidade Emergente
------------	-----------------------	---	---

Fonte: Amaral & Ross (2009).

De acordo com Ross (1990, p.48), as Unidades Estáveis têm como características:

1. Cobertura vegetal densa, capaz de pôr freio ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese;
2. Dissecação moderada do relevo, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem solapamento vigoroso dos rios e vertente de lenta evolução; e,
3. Ausência de manifestações vulcânicas e abalos sísmicos que possam desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspecto mais ou menos catastróficos.

Nessas condições, predominam os processos pedogenéticos em comparação aos processos morfogenéticos. Já as Unidades Instáveis, ainda segundo Ross (1990, p.48), apresentam:

1. Condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregulares de chuva, ventos, geleiras;
2. Relevo com vigorosa dissecação, apresentando declives fortes e extensos;
3. Presença de solos rasos ou constituídos por partículas com baixo grau de coesão;
4. Inexistência de cobertura vegetal florestal densa;
5. Planícies e fundos de vales sujeitos a inundações; e,
6. Geodinâmica interna intensa (sísmicos e vulcanismo).

Conforme Ross (1944), a Fragilidade Potencial (susceptibilidade natural do ambiente) e a Fragilidade Emergente (susceptibilidade natural associada aos graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem) são decorrência de uma análise integrada das características do relevo, solo, litologia, cobertura vegetal, uso da terra e pluviometria. Para a variável relevo, Ross (1994) indica que em estudos de maior detalhe, é necessário empregar como base de informações, as formas de vertentes e as classes de declividades enquanto para escalas médias e pequenas utilizamos os Padrões e Formas de Relevo associado aos Índices de Dissecação do Relevo.

Nessa pesquisa, em função da escala, utilizamos os Padrões e Formas de Relevo associado aos Índices de Dissecação do Relevo. Na proposta de taxonomia do relevo (ROSS, 1992), os Padrões e Formas de Relevo correspondem ao 3º táxon; são compartimentos morfológicos numa mesma unidade morfoestrutural, classificados em decorrência de formas semelhantes. Podem ser geradas por acumulação, como planícies fluviais, marinhas ou lacustres; ou podem ser geradas por processos denudacionais. Esses últimos são identificados a partir de diferenças altimétricas e fisionômicas, como a elevação média do terreno, amplitude altimétrica e formas dos topos (planos, tabulares, convexizados ou aguçados), que irão caracterizar padrões de morro, colinas, morrotes, chapadas, serras e outros.

Os Índices de Dissecação do Relevo são dados morfométricos obtidos a partir de valores referentes à dimensão interfluvial média e o grau de entalhamento médio dos vales.

Para a variável solos, são consideradas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessuras dos horizontes. Quanto às informações climatológicas, para a determinação da Fragilidade Ambiental, interessam especialmente a distribuição, intensidade, volume e duração das chuvas (MOROZ-CACCIA GOUVEIA et al, 2017) e para o uso da terra, é necessário considerar o grau de proteção que cada tipo de cobertura oferece aos solos, face aos processos erosivos induzidos pela ação das águas pluviais.

3.4 Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as matas ciliares

Áreas de Preservação Permanente (APPs), de acordo com a Lei Federal 12.651/12 que institui o novo código florestal brasileiro, são:

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 (Art. 3º, inciso II).

Os benefícios de manutenção da vegetação nas APPs hídricas podem ser analisados sob dois aspectos: o primeiro deles diz respeito à sua importância como componente físico; o segundo, com relação aos serviços ecológicos e ambientais prestados pela flora existente. Além de funcionarem como corredores de fauna entre

fragmentos florestais, são fonte de alimento tanto para a fauna terrestre quanto aquática. São responsáveis pela proteção física das margens dos rios evitando a erosão, pois as raízes das plantas auxiliam na retenção do solo.

Usualmente, os serviços ambientais são classificados em provisão, regulação, culturais e de suporte. Os SE de provisão envolvem toda produção nutricional, material e energética (alimentos, água, madeira e fibras). Os serviços regulatórios e de manutenção abarcam todas as formas em que os organismos vivos podem mediar ou moderar ações ambientais que afetam o ser humano, como controle de doenças, inundações, alterações no clima, qualidade da água, degradação de lixo e de substâncias tóxicas. Serviços culturais, por sua vez, correspondem à produção dependente de processos vivos que afeta o estado mental e psicológico das pessoas (inclui recreação, benefícios estéticos, espirituais e psicológicos), enquanto os serviços de suporte correspondem aos processos e estruturas de apoio, como formação do solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes (MEA, 2005; LATERRA ET AL., 2015; VEZZANI, 2015).

Nesse sentido, pode-se considerar que a vegetação ripária oferece serviços ambientais de regulação e também de suporte. A conversão de terras, a incorporação de tecnologias na agropecuária (em especial os insumos) e a consequente perda de biodiversidade, afetam decisivamente a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas (VIGLIZZO et al, 2003; CARREÑO E VIGLIZZO, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização do meio físico e uso da terra

Para a caracterização do meio físico e uso da terra, além da pesquisa bibliográfica e cartográfica, também foram produzidos materiais específicos para a área de estudo². Para os aspectos geológicos, foi utilizado o Mapa Geológico do Estado de São Paulo editado pelo IPT (1981), em escala 1:500.000, disponibilizado pelo CBH-AP (1997).

Com relação à geomorfologia, empregou-se o Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo em escala 1:500.000 elaborado por Ross e Moroz (1997). Já os produtos cartográficos de hipsometria e declividade, foram elaborados através do programa ArcGis 10.3 a partir de dados derivados do radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizados pelo INPE³. A primeira etapa consistiu em baixar os arquivos correspondentes à área de estudo, mosaicar as imagens e extrair a área correspondente à UGRHI 21; obtendo assim o Modelo Digital de Elevação (MDE). Posteriormente, realizamos a distribuição das altitudes mínimas e máximas em 5 classes para a hipsometria e para a declividade foi aplicada a ferramenta slope e feita a classificação indicada no Quadro 6.

Quadro 6 – Níveis de fragilidade para a declividade.

Classes de declividades	Níveis de fragilidade
Até 6%	Muito baixo
6-12%	Baixo
12-20%	Médio
20-30%	Alto
Acima de 30%	Muito alto

Fonte: Ross (1994) / Organizado pela autora.

Para o clima, além da revisão bibliográfica foi elaborado o Mapa de erosividade a partir dos valores de R coletados no NetErosividade (Apêndice) e

² Todos os produtos cartográficos pré-existentes foram adaptados pela autora da pesquisa.

³ Os produtos do projeto TOPODATA são derivados do processo de refinamento das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que transforma sua resolução espacial original, de ~90m para ~30m utilizando o método de krigagem, além de diversas análises geomorfométricas. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

classificado de acordo com as indicações de Carvalho (2008), apontadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Classes de erosividade.

Erosividade (MJ MM HA⁻¹ H⁻¹)	Classe de erosividade
R < 2452	Fraca
2452 < R < 4905	Moderada
4905 < R < 7357	Moderada a forte
7357 < R < 9810	Forte
R > 9810	Muito Forte

Fonte: Carvalho (2008).

Já os Mapas Pedológico (escala de 1:250.000) e de Uso da Terra (escala 1:100.000) foram elaborados, respectivamente, por Rossi (2017) e Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (2013). No contexto do Oeste Paulista e mais especificamente na área de estudo, com a agropecuária e o plantio de culturas temporárias, não é mais uma realidade a área que o mapa de uso da terra classifica como “Cobertura Herbácea Arbustiva”.

Praticamente toda a vegetação original foi retirada em um processo de 30 anos aproximadamente (1910 – 1940) para plantio de pastagens café e algodão. Após uso intensivo ou falta de manejo adequado, os solos apresentam grande esgotamento, ainda com predomínio de pastagens sob diferentes graus de manejo e crescimento do cultivo de cana-de-açúcar e citrus (TRIVELLATO & FILHO, p. 658, 2012).

Assim, foi preciso fazer uma atualização, identificando as áreas de pastagem e a cultura de cana-de-açúcar por meio de vetorização a partir de imagens de satélite do Google Earth, dos anos de 2012-2013 (para ser coerente com o ano da publicação do relatório do IPT em 2012, cujos dados foram utilizados para as análises referentes à erosão linear).

4.2 Cálculo da estimativa de perda de solo e exportação de sedimentos

Para aplicar a EUPS na área de estudo empregou-se o módulo *Sediment Delivery Ratio* (SDR) da ferramenta computacional InVEST, desenvolvida pelo Natural Capital Project em parceria com as organizações ambientais The Nature

Conservancy - TNC e World Wildlife Fund - WWF (TALLIS et al., 2011). No Quadro 8, estão dispostos os dados de entrada requeridos pelo software InVEST e suas respectivas descrições. Para a aplicação do módulo SDR exige que os dados estejam na mesma resolução e mesmo sistema de projeção.

Quadro 8 – Dados de entrada do modelo de retenção de sedimentos do InVEST.

Dados de entrada	Descrição	Programas
Erosividade da chuva	Mapa na estrutura <i>raster</i> com o valor do índice de erosividade para a região ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Valor que depende da duração e intensidade da chuva para a região.	NetErosividade ArcGis 10.3
Erodibilidade do solo	Mapa na estrutura <i>raster</i> com valor de erodibilidade ($\text{Mg ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) para cada tipo de solo. Esta erodibilidade é determinada pelo potencial de desagregação das partículas constituintes do solo.	ArcGis 10.3
Modelo Digital do Terreno (MDE)	Mapa na estrutura <i>raster</i> com o valor de elevação para cada célula.	ArcGis 10.3
Delimitação das microbacias hidrográficas da área de estudo (Unidades de Planejamento Hidrográfico - UPHs)	Mapa em formato <i>shapefile</i> com a delimitação das microbacias hidrográficas, que serão analisadas quanto à produção e retenção de sedimentos para um determinado ponto de interesse.	ArcGis 10.3
Mapa de uso da terra	Mapa na estrutura <i>raster</i> com os usos e coberturas da região de estudo.	ArcGis 10.3
Tabela biofísica	Tabela com usos da terra e seus respectivos fatores relativos ao potencial de retenção de sedimentos e referidas práticas conservacionistas no formato .csv.	Excel 2013

Fonte: Adaptado de Zanella (2016).

Os dados correspondentes à erosividade (fator R) devem ser apresentados na forma de um mapa isoerodente, elaborado a partir dos dados de erosividade obtidos através do programa NetErosividade SP (GPRH/UFV – IAC) referentes a 116 postos pluviométricos presentes na área de estudo e em seu entorno (Apêndice); os postos pluviométricos foram plotados no ArcGis e na adicionado na tabela de atributos a coluna “Fator R”.

Em relação à erodibilidade, utilizamos o Mapa Pedológico do estado de São Paulo elaborado por Rossi (2017). O mapa foi convertido para o formato raster e reclassificado com base nos valores de erodibilidade ($\text{Mg ha h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) para cada tipo de solo, conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Valores de erodibilidade dos tipos de solo.

Classes	Valores de k
Latossolos	0,0162
Argissolos	0,0425
Gleissolos	0,0361
Neossolos	0,0351

Organizado pela autora.

Os fatores, comprimento de rampa (L) e declividade (S) não devem ser analisados separadamente, mas determinados como um único fator (LS). Os dados morfométricos são obtidos automaticamente a partir de MDE (modelo digital de elevação) e, para a pesquisa, utilizamos o MDE disponibilizado pelo projeto TOPODATA e para corrigir as possíveis imperfeições e preparar o *raster* utilizamos a ferramenta “InVEST_HelperTools _Arc10” contida no InVEST, instalada como complemento no Arctoolbox do ArcGis.

Para os fatores C e P, foi empregado o Mapa de Uso da Terra. Seus valores foram atribuídos de acordo com Ribeiro e Alves (2007) e estão indicados no Quadro 10. O InVEST requer a elaboração de uma tabela em formato CSV com os valores dos fatores C e P para cada categoria de uso.

Quadro 10 – Valores das variáveis C e P.

LULC	eups_c	eups_p	Lucode
Cana de açúcar	0.3	0.5	1
Corpo d'água	0	0	2
Cobertura arbórea	0.001	0	3
Pastagem	0,4	0.5	4
Solo exposto	1	0	5
Área construída	0.03	0.5	6
Área úmida	0	0	7

Organizado pela autora.

Por fim, o modelo também demanda um mapa com delimitação das bacias e sub-bacias hidrográficas da área de estudo em formato *shapefile*, cuja tabela de atributos deve conter uma coluna “ws_id” com números crescentes correspondente à cada delas. Após a execução da ferramenta, como resultado, são gerados os seguintes mapas:

- rkls.tif (toneladas/pixel): Corresponde a um mapa de potencial natural à erosão pois apresenta a perda potencial total de solo por pixel, equivalente à perda de solo para o solo nu. sem os fatores C ou P;
- usle.tif (toneladas pixel): Corresponde a um mapa de estimativa de perdas de solo a partir da EUPS;
- sed_retention.tif (toneladas/pixel): Corresponde a um mapa de estimativa de retenção de sedimentos com referência a uma bacia hidrográfica descoberta, portanto desconsiderando os fatores C e P;
- sed_retention_index.tif (toneladas/pixel): Esse índice corresponde à diferença entre rkl e usle (RKLS – USLE). Não apresenta valores absolutos, mas sim relativos; e,
- waterhed_results_sdr.shp: Apresenta tabela de atributos contendo valores biofísicos para cada bacia hidrográfica, com os seguintes campos:
 - sed_export (toneladas/bacia hidrográfica): quantidade total de sedimentos exportados para os canais fluviais por bacia hidrográfica. O valor obtido deve ser compatível com a carga de sedimentos observada no exutório da bacia hidrográfica.
 - usle_tot (toneladas/bacia hidrográfica): quantidade total de perda de solo em cada bacia hidrográfica calculada pela EUPS.
 - sed_retention (toneladas / bacia hidrográfica): diferença na quantidade de sedimento exportado numa bacia hidrográfica com fatores C e P e uma bacia hidrográfica hipotética onde todos os tipos de uso da terra foram limpos para o solo nu.

Para as análises propostas nessa pesquisa, foram utilizados o mapa de estimativa de perdas de solos (usle.tif) e o mapa de sed_export (toneladas/bacia hidrográfica) e o arquivo waterhed_results para identificar as bacias hidrográficas mais problemáticas. Os valores obtidos nos mapas resultantes do processamento referem-se a cada pixel, portanto, se torna necessário reclassificar o raster,

convertendo para hectares. Considerando que o pixel apresenta valor de 30 m, o fator de conversão é: 1 pixel (30 m x 30 m) = 0,09 ha. O Quadro 11 apresenta as classes de perda de solo em ton.ha/ano e seus respectivos graus de erosão.

Quadro 11 – Grau de erosão por quantidade de perda de solo.

Perda de solo (ton. ha/ano)	Grau de erosão
0 – 10	1 – Muito baixo
10 – 20	2 – Baixo
20 – 50	3 – Médio
50 – 100	4 – Alto
> 100	5 – Muito alto

Fonte: Pereira, 2014.

Para retirar algum pixel nulo é necessário utilizar a ferramenta *raster calculator* com a entrada `Con(IsNull("nome.tif"),0,"nome.tif")`; após esta etapa, é necessário recortar o raster gerado para o limite da área de estudo através do *extract by mask* e posteriormente fazer a classificação.

4.3 Elaboração da simulação de perdas de solo a partir do cenário de reconstituição das APPs

Novos métodos de planejamento têm sido desenvolvidos como suporte na tomada de decisões devido à alta velocidade com que ocorrem as transformações nas organizações, e a grande quantidade de incertezas que se tem com relação ao futuro. Métodos que trabalham com cenários prospectivos cada dia se tomam mais valorizados como uma importante ferramenta no planejamento, já que conduz as organizações a desenvolver atitudes pré e proativas em relação ao futuro, buscando a formulação do futuro desejado.

A simulação da reconstituição florestal das APPs foi elaborada a partir da substituição dos usos atuais em buffers de 30 metros nas margens dos cursos fluviais e de 50 metros de raio em torno das nascentes, correspondentes às áreas das APPs fluviais, delimitados pela LEI Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Então, refizemos a estimativa de perda de solos e exportação de sedimentos, para avaliar quantitativamente mudanças caso as APPs estivessem cobertas por vegetação florestal.

Utilizou-se os *shapefiles* correspondente as APPs de todos os municípios que fazem parte da UGRHI 21, disponibilizados pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Foi empregada a ferramenta *erase* (que gera uma camada sem as áreas sobrepostas pela camada de corte) do ArcGis para retirar as áreas de uso da terra nas APPs e após esse passo foi reinserido o *shapefile* das APPs com a ferramenta *merge*, como vegetação arbórea. Com o novo Mapa de Uso da terra, foi realizado o processamento do módulo SDR do InVEST e os resultados foram classificados da mesma forma descrita no item 4.2.

4.4 Diagnóstico da fragilidade ambiental

Para a variável relevo, foram utilizados os Padrões de Formas Semelhantes (3º táxon) e os índices de dissecação do relevo como parâmetro morfométrico, conforme proposição inicial de Ross (1994). Essas informações foram obtidas no Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo, em escala 1:500.000 elaborado por Ross e Moroz (1997) e foram atribuídos níveis de fragilidade para cada categoria identificada na área de estudo (Quadro 12).

Quadro 12 – Níveis de fragilidade atribuídos às categorias morfométricas do relevo.

Padrões de Formas Semelhantes de Relevo e Índices de dissecação do relevo	Níveis de fragilidade
Dc11 ⁴ /Dt 11	1 – Muito baixo
Dc12 e 22/Dt 12	2 – Baixo
Dc 13 e 23/Dt 13	3 – Médio
Dc14, 24, 34	4 – Alto
Atf / Apf	5 – Muito alto (Áreas sujeitas a inundações)

Fonte: Ross (1994). Organizado pela autora.

Os índices de dissecação do relevo se referem à Matriz de Índices de Dissecação proposta por Ross (1992); a matriz representa os Índices de Dissecação do Relevo demonstrando que, quanto maior for o valor numérico expresso pelo conjunto dos dois algarismos arábicos, maior será a dissecação e vice-versa.

⁴ As formas agradacionais são representadas pela letra maiúscula A (agradacional/ acumulação) e as formas denudacionais receberam a letra maiúscula D (denudacional/ dissecação).

Quadro 13 – Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo para escalas médias.

Graus de entalhamento dos vales	DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA				
	Muito baixo (1) (> 3750m)	Baixo (2) (1750 a 3750m)	Médio (3) (750 a 1750m)	Alto (4) (250 a 750m)	Muito alto (5) (< 250m)
Muito baixo (1) (< 20m)	11	12	13	14	15
Baixo (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
Alto (4) (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
Muito alto (5) (> 160 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1992).

Para a variável solo foi empregado o Mapa Pedológico do estado de São Paulo, em escala 1:250.000 de Rossi (2017). Para cada classe de solo identificada na área de estudos, foram atribuídos níveis de fragilidade de acordo com Ross (1994), que se baseou em pesquisas já consagradas tais como Lombardi Neto & Bertoni (1975) e em sua larga experiência em levantamentos de campo. O Quadro 14 apresenta os tipos de solo e seus respectivos níveis de fragilidade.

Quadro 14 – Níveis de fragilidade atribuídos aos tipos de solo.

Classe de solos	Níveis de fragilidade
Latossolos	2 – Baixo
Argissolos	4 – Alto
Neossolos	5 – Muito alto
Planossolos e Gleissolos	Restrito

Organizado pela autora.

Em relação ao uso da terra, é indispensável considerar o grau de proteção que cada tipo de cobertura oferece aos solos, face aos processos erosivos

ocasionados pela ação das águas pluviais. No Quadro 15, estão indicados os níveis de fragilidade que foram atribuídos para cada classe de uso da terra, conforme sugerido por Ross (1994).

Quadro 15 – Níveis de fragilidade atribuídos ao uso da terra.

Classes de uso	Níveis de fragilidade
Cobertura arbórea	1 – Muito baixo
Cana, Área urbana	3 – Médio
Pastagem	4 – Alto
Solo exposto	5 – Muito alto
Área úmida, corpos d'água	Restrito ⁵

Fonte: Ross (1994). Organizado pela autora.

Após a reclassificação dos mapas temáticos com os níveis de fragilidade, realizou-se a sobreposição ponderada entre a fragilidade do relevo e dos solos, obtendo assim o Mapa de Fragilidade Potencial. Posteriormente, ao correlacionar este último com o Mapa de Uso da Terra, foi gerado o Mapa de Fragilidade Emergente (Ambiental).

4.5 Mapa de síntese de suscetibilidade à erosão pluvial

Esse produto é resultado da sobreposição ponderada entre os mapas de Fragilidade Emergente e Estimativa de Perdas de Solo.

⁵ RESTRITO são áreas de planícies de inundação. Embora apresentem fragilidade baixa em relação aos processos erosivos, são áreas onde a ocupação deve considerar aspectos legais (APPs), a instabilidade dos terrenos e a ocorrência de inundações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados provenientes da pesquisa. Primeiramente, serão apresentados os produtos do meio físico e, na sequência, os dados referentes ao uso da terra, perda de solos e simulação de recomposição florestal das APPs, diagnóstico da fragilidade e dos processos erosivos na UGRHI 21, síntese da suscetibilidade a processos erosivos pluviais e por fim, uma breve sessão com um quadro de propostas de manejo para mitigação dos processos erosivos.

5.1 Meio físico

No que se refere a geologia, dominam as rochas sedimentares, de composição predominantemente arenosa, pertencentes ao Grupo Bauru, representadas pelas Formações Marília (Km), Adamantina (Ka), Santo Anastácio (Ksa) e Caiuá (Kc), e rochas básicas do Grupo São Bento, representadas pela Formação Serra Geral (JKsg). Ainda há presença de sedimentos aluvionares quaternários (Qa) que correspondem às planícies e terraços fluviais (DAEE/UNESP,1982).

A Formação Adamantina (Ka) ocorre na maior parte do Planalto Ocidental Paulista com exceção das porções mais baixas dos vales dos rios onde a erosão removeu seus sedimentos. Correspondem a arenitos muito finos e finos, com ocorrência local de cimento e nódulos carbonáticos, com lentes de siltitos arenosos e argilitos, ocorrendo em banco maciços. Apresenta estratificação pla-paralela e cruzada de pequeno e médio porte (CBH- AP, 1997. IPT, 1981).

Sobreposta à Formação Adamantina está a Formação Marília com ocorrência restrita à porção leste-sudeste da área de estudo. Nesta área, a Formação Marília sustenta escarpas características, com até pouco mais de cem metros de desnível, encimada por superfície aplainada, denominada Planalto Residual e Marília. Apresenta arenitos de granulação fina a grossa, com tênues estratificações cruzadas de médio porte, com ocorrência frequente de nódulos carbonáticos (CBH- AP, 1997; IPT, 1981).

Os arenitos da Formação Santo Anastácio ocorrem, em todo o oeste do estado de São Paulo e na área de estudos, está presente no baixo curso do Rio do

Peixe, próximo ao rio Paraná e em geral são muito finos à médios, mal selecionados com ocorrência local de cimento e nódulos carbonáticos (CBH- AP, 1997; IPT, 1981).

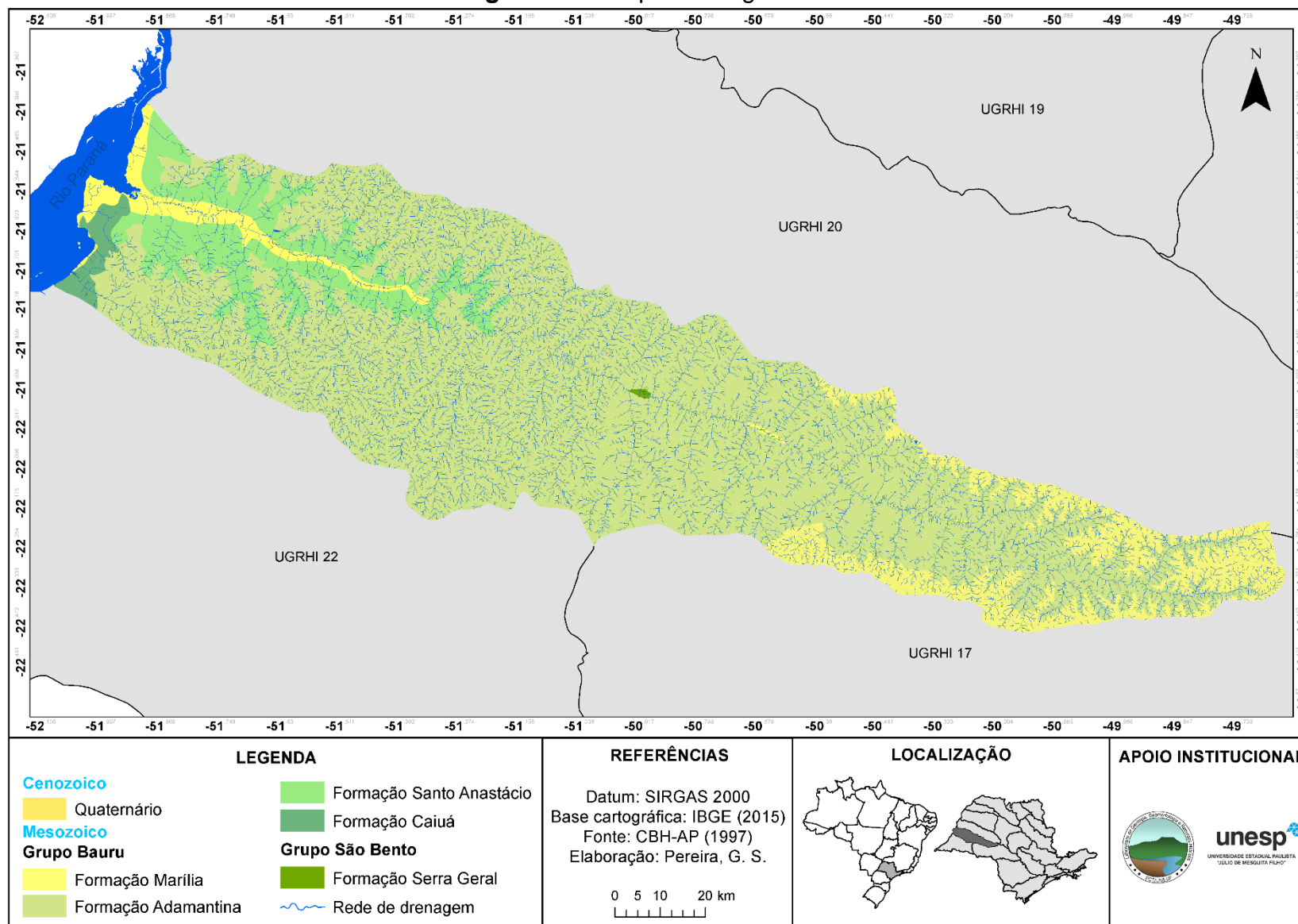
A Formação Caiuá (constituída basicamente de arenitos), representa a base do Grupo Bauru e tem área de ocorrência restrita ao extremo oeste do estado de São Paulo, mais precisamente no Pontal do Paranapanema, se estendendo para norte, acompanhando a margem esquerda do rio Paraná até à confluência de seu afluente, o rio do Peixe. Esta formação se caracteriza por apresentar uma grande uniformidade litológica. É constituída predominantemente por arenitos finos a médios, de coloração arroxeadada com marcante estratificação cruzada de médio a grande porte, com ocorrência local de cimento e nódulos carbonáticos (CBH- AP, 1997; IPT, 1981).

Segundo CBH-AP (1997, p.13), as rochas eruptivas da Formação Serra Geral “compreendem um conjunto de derrames de basaltos toleíticos entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à Formação Botucatu”. No estado de São Paulo, os derrames afloram na parte superior das escarpas das cuestas basálticas e de morros testemunhos e no Planalto Ocidental Paulista (IPT, 1981) e especificamente na UGRHI 21, ocorrem de forma bem restrita, na porção central da bacia hidrográfica, no vale do rio do Peixe.

Os Sedimentos Aluvionares correspondem genericamente aos “depósitos em terraços suspensos - cascalheiras e aluviões pré-atuais - e os depósitos recentes de encostas e associados às calhas atuais - coberturas coluvionares e aluvionares, respectivamente” (CBH-AP, 1997, p.26). Na área de estudo, correspondem aos sedimentos aluviais da planície fluvial do rio do Peixe.

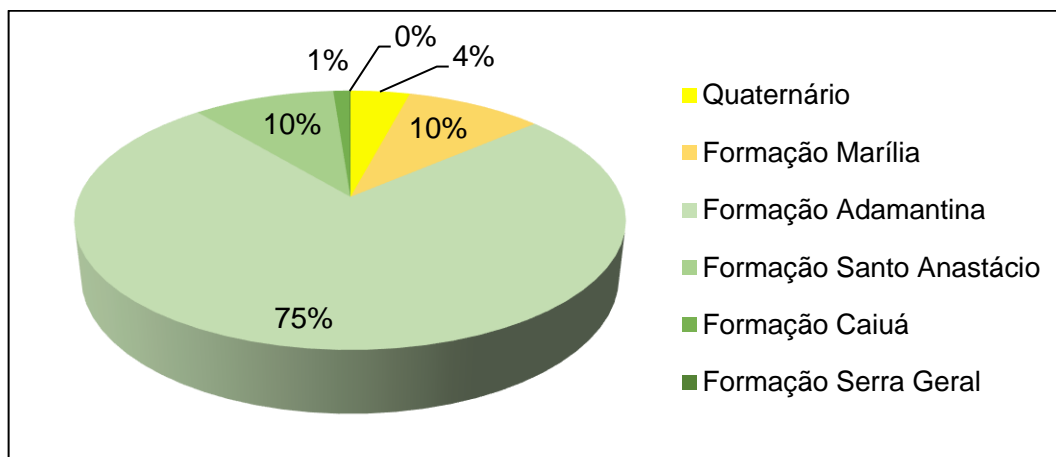
A Figura 16 apresenta o Mapa Geológico da área de estudo, demonstrando a espacialização das formações indicadas acima.

Figura 16 – Mapa Geológico.



A partir do Mapa Geológico é possível observar que a “Formação Adamantina” tem a maior ocorrência, ocupando 75% do total da área de estudo (Figura 17).

Figura 17 – Valores percentuais de cada formação geológica.



Elaborado pela autora.

Em relação a Geomorfologia, a UGRHI 21 está posicionada na Unidade Morfoestrutural⁶ da Bacia Sedimentar do Paraná, na unidade morfoescultural⁷ denominada Planalto Centro Ocidental Paulista, abrangendo as subunidades Planalto Residual de Marília e Planalto Centro Ocidental (ROSS & MOROZ ,1997). Essas subunidades morfoesculturais se caracterizam por modelados de colinas com topos convexos e topos aplanados, com altitudes entre 300 e 600 metros e declividades inferiores a 20%.

Para Ross (1985, p. 31) “os planaltos em Bacias Sedimentares são quase que inteiramente circundados por depressões periféricas ou marginais. Estas unidades também se caracterizam por apresentar nos contatos (planalto-depressões) os relevos escarpados caracterizados por frentes de Cuestas”. No caso específico da unidade morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista (que ocupa praticamente 50% da área total do Estado de São Paulo) o relevo é levemente ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas com topos suavemente convexizados ou aplanados.

⁶ A morfoestrutura é definida pelas grandes formas do relevo da superfície dos continentes e do fundo dos oceanos e têm uma relação genética com a estrutura e os movimentos da crosta terrestre.

⁷ A morfoescultura é a forma como o relevo se apresenta frente à zonalidade e aos processos exógenos, ou seja, o desgaste sofrido por erosão, que esculpe as formas das colinas, morros e topos, entre outros. A ação humana também altera a morfoescultura.

Figura 19 – Mapa Geomorfológico.

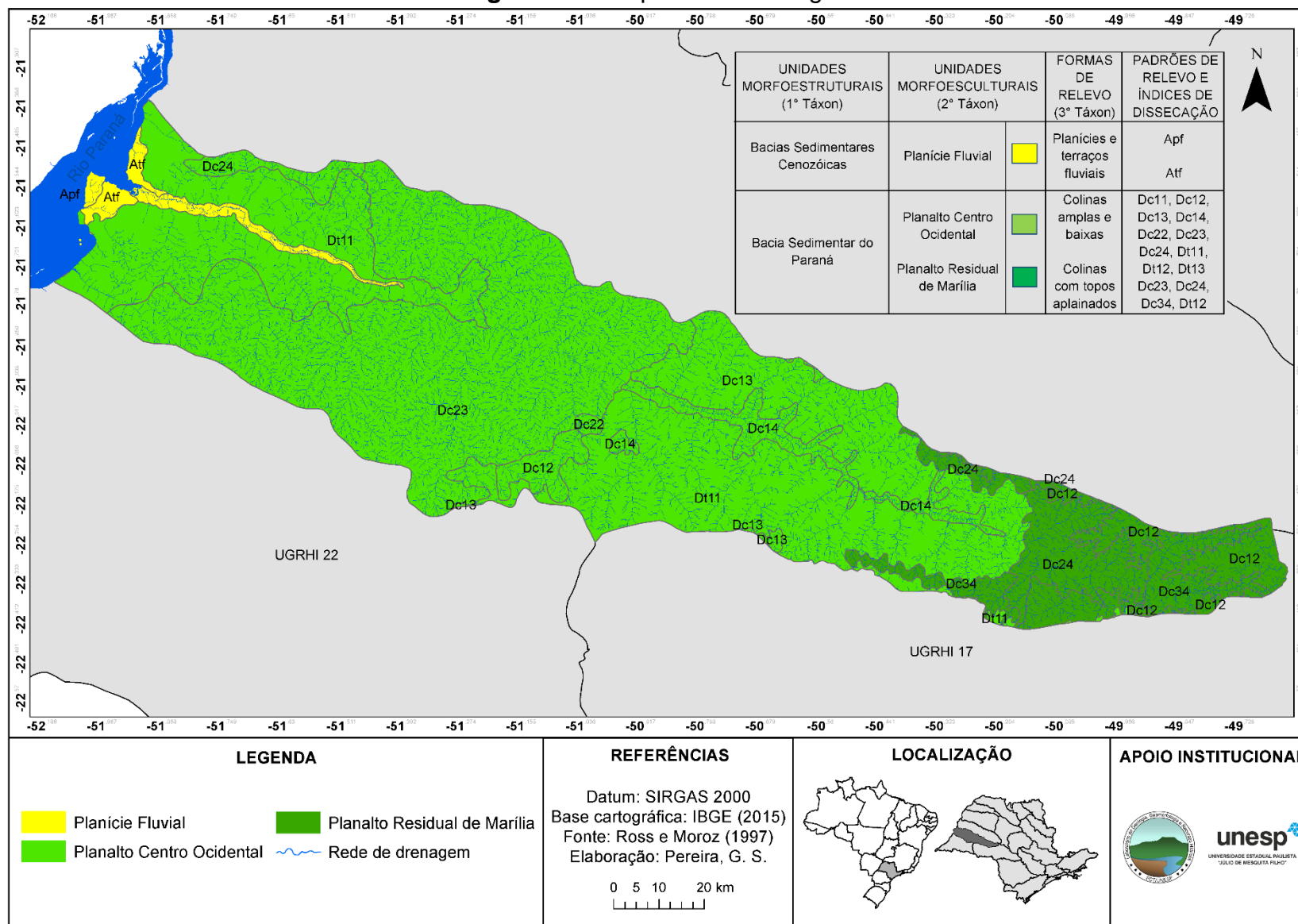
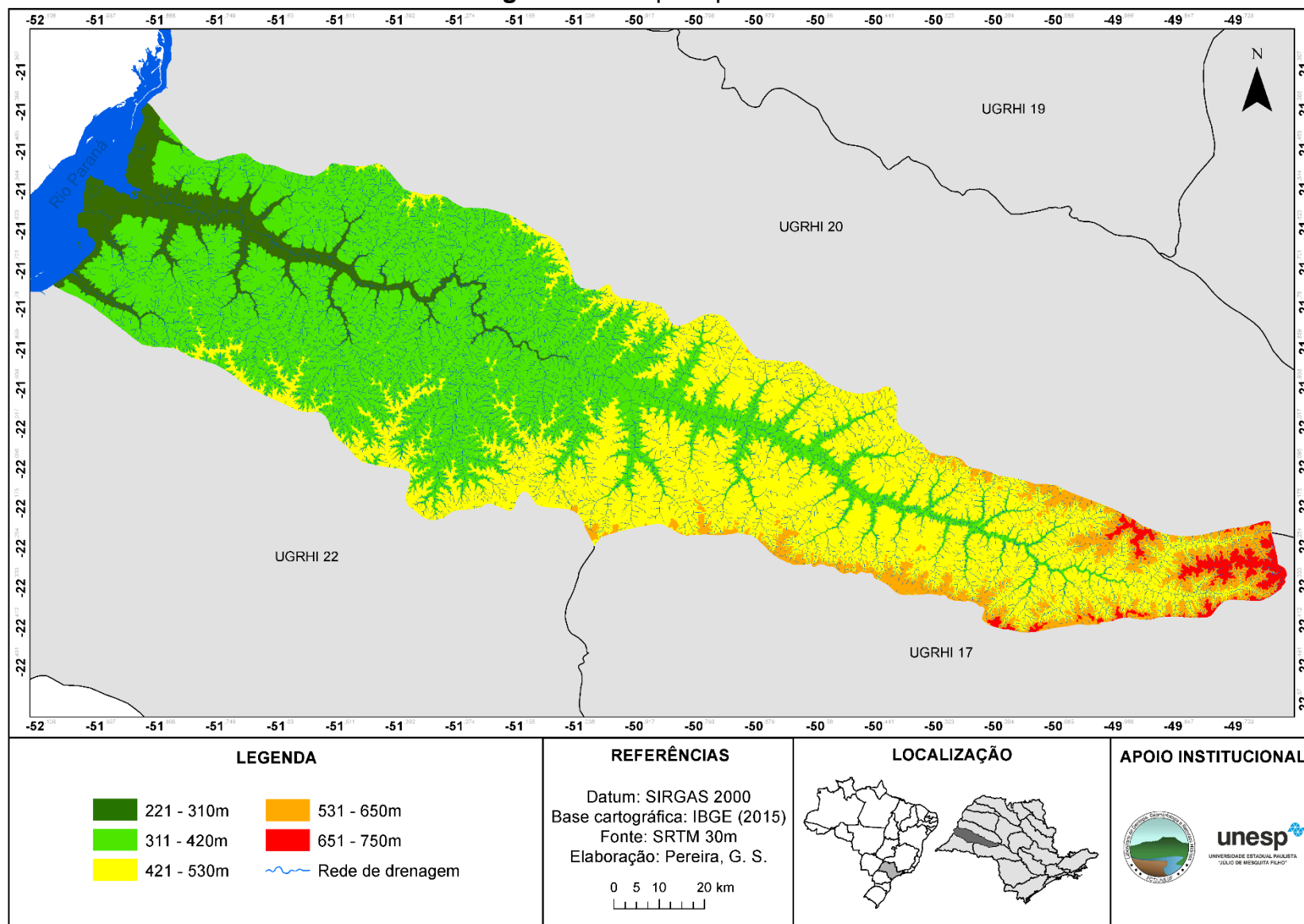
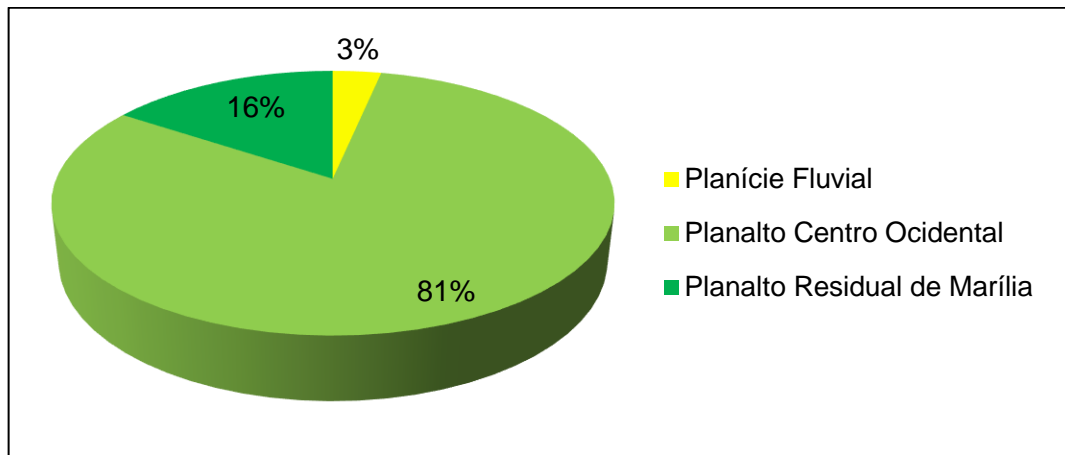


Figura 20 – Mapa Hipsométrico.



Na Figura 21, é apresentado os valores da área de ocorrência de cada uma das morfoesculturas e verifica-se que 81% da bacia está inserida no Planalto Centro Ocidental.

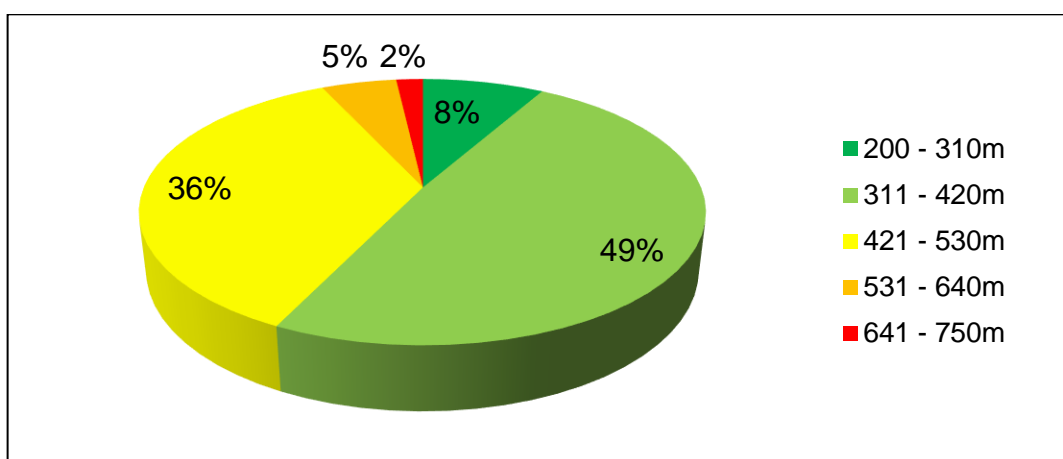
Figura 21 – Valores percentuais de cada classe geomorfológica.



Elaborado pela autora.

Um outro mapa importante quando se trata dos atributos do relevo é a hipsometria (Figura 21) - a diferença entre a elevação máxima e a elevação mínima resulta na amplitude altimétrica e na área de estudo, as altitudes variam de 221 a 750 m. É possível identificar que a UGRHI 21 é caracterizada predominantemente por altitudes entre “311 - 420m” (Figura 22), correspondendo a 49% da área total e secundariamente a classe com maior porcentagem é a de “421 - 530m”, com 36%.

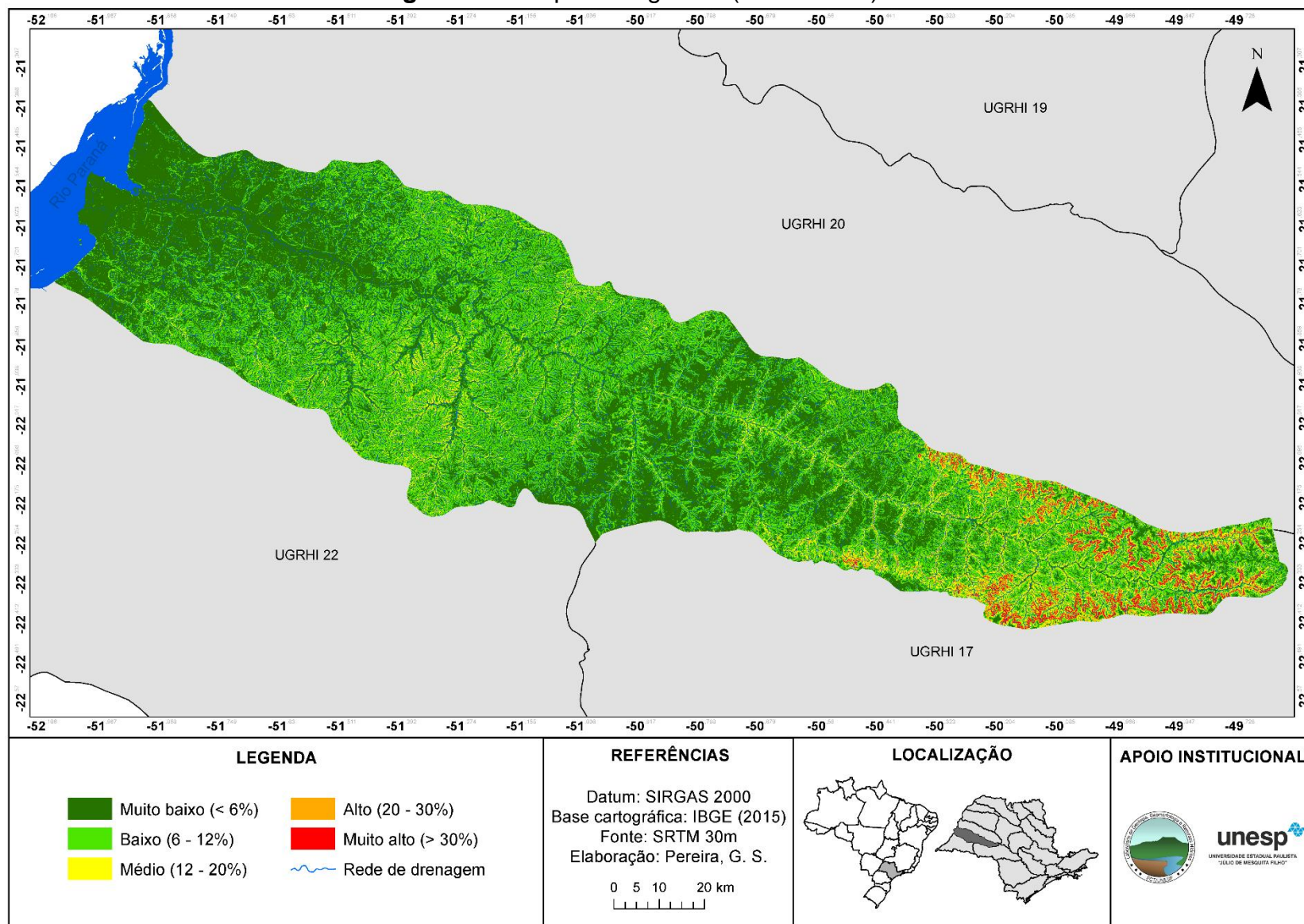
Figura 22 – Valores percentuais de cada classe de hipsometria.



Elaborado pela autora.

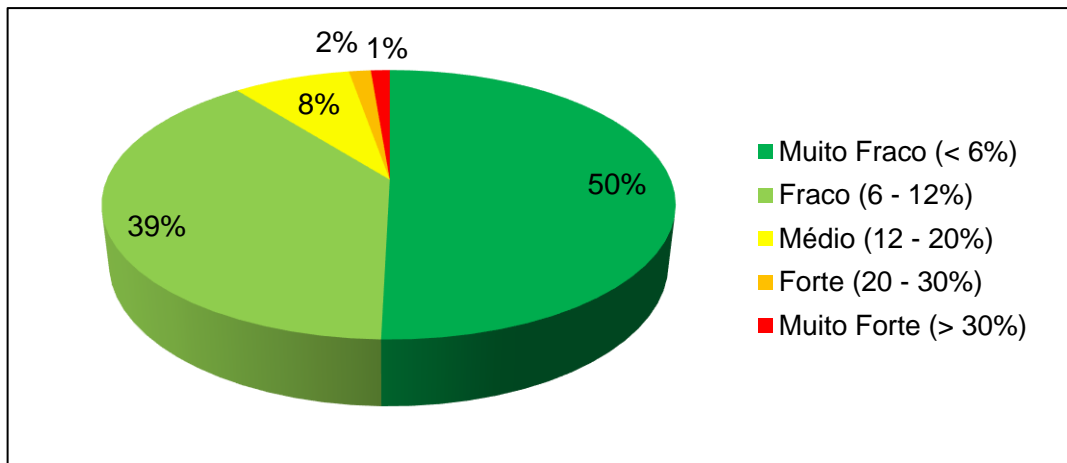
Já a Figura 23 demonstra a espacialização de cada classe de declividade da bacia hidrográfica.

Figura 23 – Mapa Clinográfico (Declividade).



De acordo com o Figura 24, é possível observar que a classe de declividade mais proeminente é a “Muito baixo (<6%)” ocupando 50% do total da área, seguida da “Baixo (6 – 12%)” com 39%.

Figura 24 – Valores percentuais de cada classe de declividade.

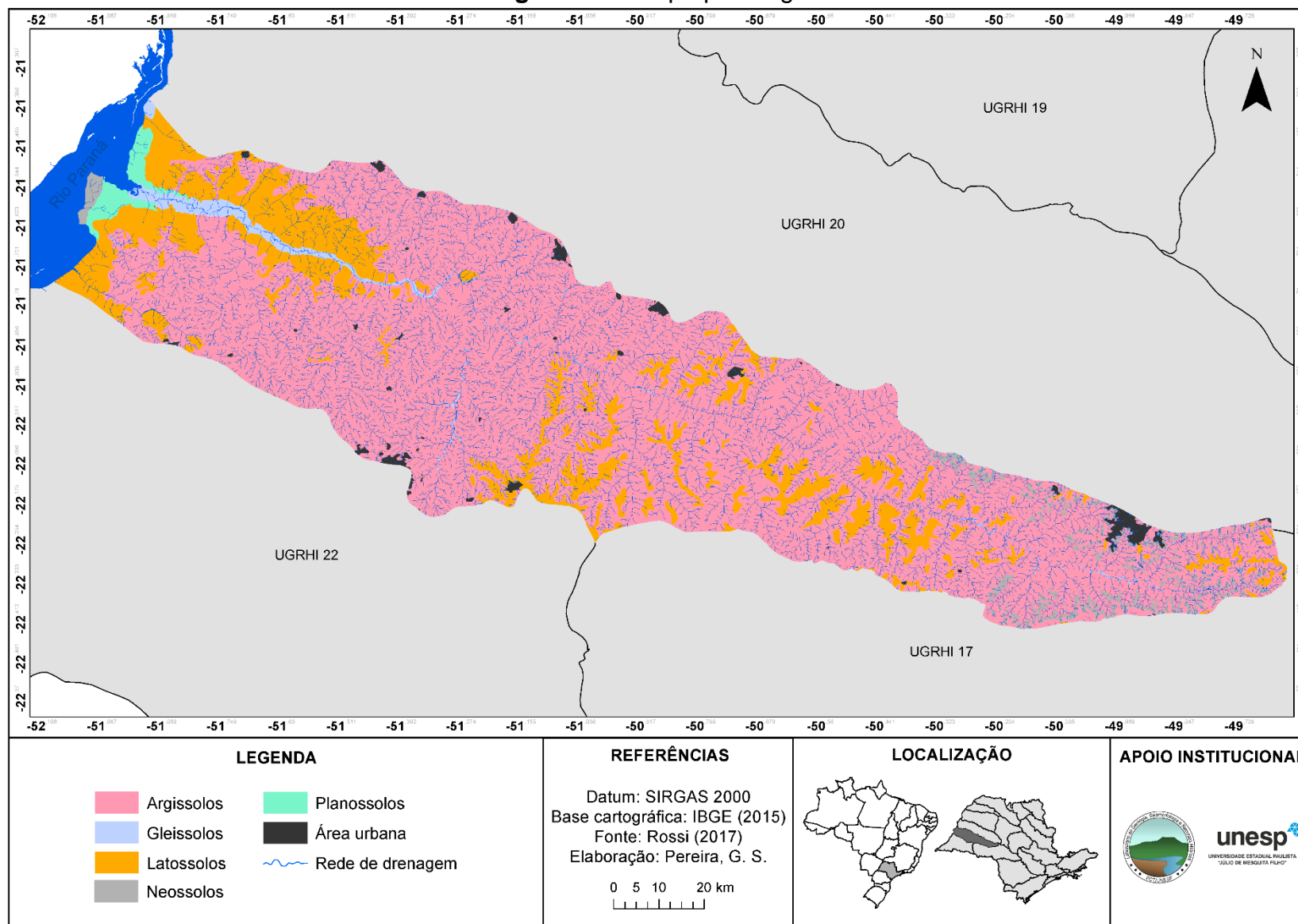


Elaborado pela autora.

Já em relação aos solos, é sabido que os atributos físicos, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como os químicos e biológicos variam de acordo com cada tipo de solo e conseqüentemente, exercem diferentes influências sobre a erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014). Dessa maneira, a avaliação dos solos aos riscos de erosão torna-se uma prática imprescindível para o planejamento conservacionista de uso das terras.

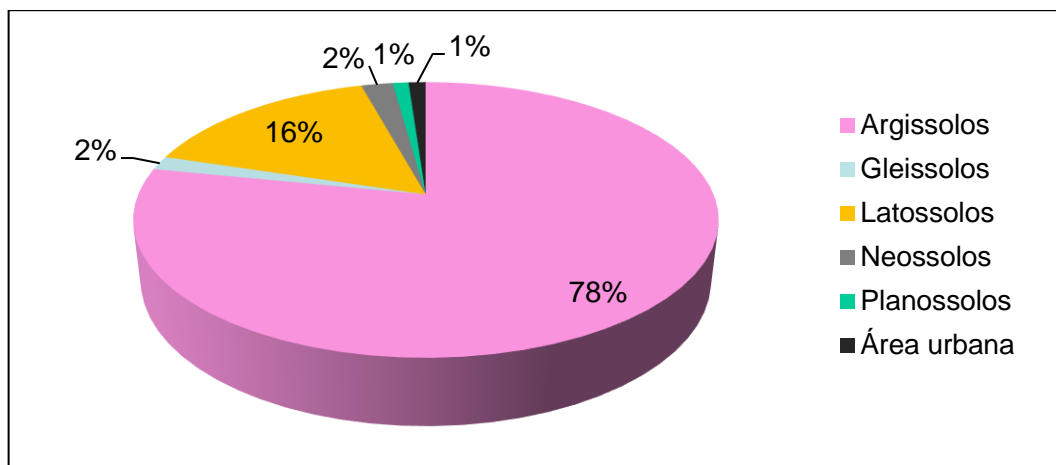
Na Figura 25 temos o Esboço Pedológico e nele observamos que na área de estudo predominam os Argissolos (O horizonte B concentra mais argila do que no horizonte A, tornando os Argissolos menos permeáveis, portanto mais propensos à erosão hídrica). De tal modo, a exploração econômica deste tipo de solo requer práticas adequadas de manejo, conservação e de correção química.

Figura 25 – Mapa pedológico.



Os “Argissolos” (Figura 26) ocupam 78% enquanto os “Latosolos” com 16%. Também apresentam Gleissolos, Neossolos e Planossolos com menor ocorrência.

Figura 26 – Valores percentuais de cada classe de pedologia.



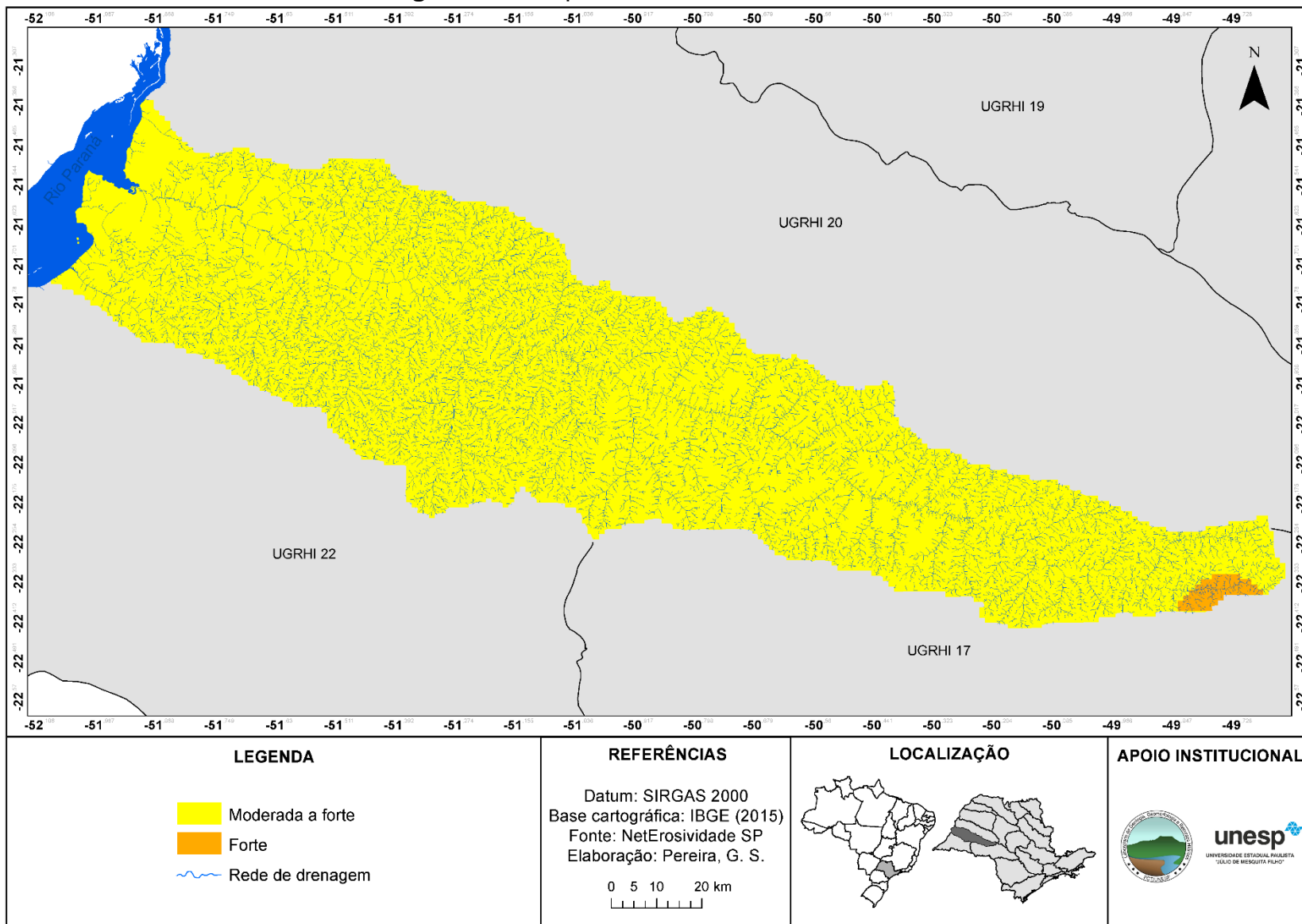
Elaborado pela autora.

Os Gleissolos são pouco profundos, constituídos de material inconsolidado e muito influenciado por encharcamento prolongado. Sua fertilidade é bem variada, por ser um solo mal drenado e geralmente se situar em áreas planas, não favorece o escoamento. Diferentemente destes, os Latossolos, são solos minerais, apresentando textura média ou mais fina, variando de argilosa a muito argilosa, possuindo pouca diferenciação entre seus horizontes e camadas, sendo profundos, bem drenados, com elevados teores de Fe_2O_3 e, conseqüentemente, cores mais avermelhadas (EMBRAPA, 2006).

Os Neossolos são pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 centímetros de espessura, não apresentam nenhum tipo de horizonte B diagnóstico. Já os Planossolos, compreendem solos “[...] imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta [...]” (EMBRAPA, 2018, p.101).

Um outro fator físico a ser considerado nos processos erosivos é o clima, a Figura 27 apresenta a erosividade para a UGRHI 21.

Figura 27 – Mapa de erosividade da UGRHI 21.



A partir do mapa anterior, identificamos que a maior parte da bacia está situada na classe de erodibilidade “Moderada a forte”, que corresponde aos valores entre 4905 e 7357 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ em 99% da área e o 1% restante na “Forte” (7357 < R < 9810 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹).

Entendemos que o a análise das características morfológicas e hidrológicas de uma bacia hidrográfica, aliada ao conhecimento do uso do solo, auxilia, no processo de avaliação de possíveis efeitos de perturbação das características do ecossistema em suas condições de equilíbrio, visando estabelecer parâmetros adequados de conservação e proteção. A seguir, apresentamos resultados obtidos para o uso.

5.2 Uso da terra

Na produção do espaço geográfico, o homem promove alterações no uso da terra e gera mudanças no ciclo hidrológico que geralmente dão origem a impactos ambientais negativos, tais como o aumento do escoamento superficial, principalmente quando reduz ou elimina a cobertura vegetal implicando também no aumento das taxas de erosão do solo e da exportação de sedimentos nas bacias hidrográficas. Para Boin (2000):

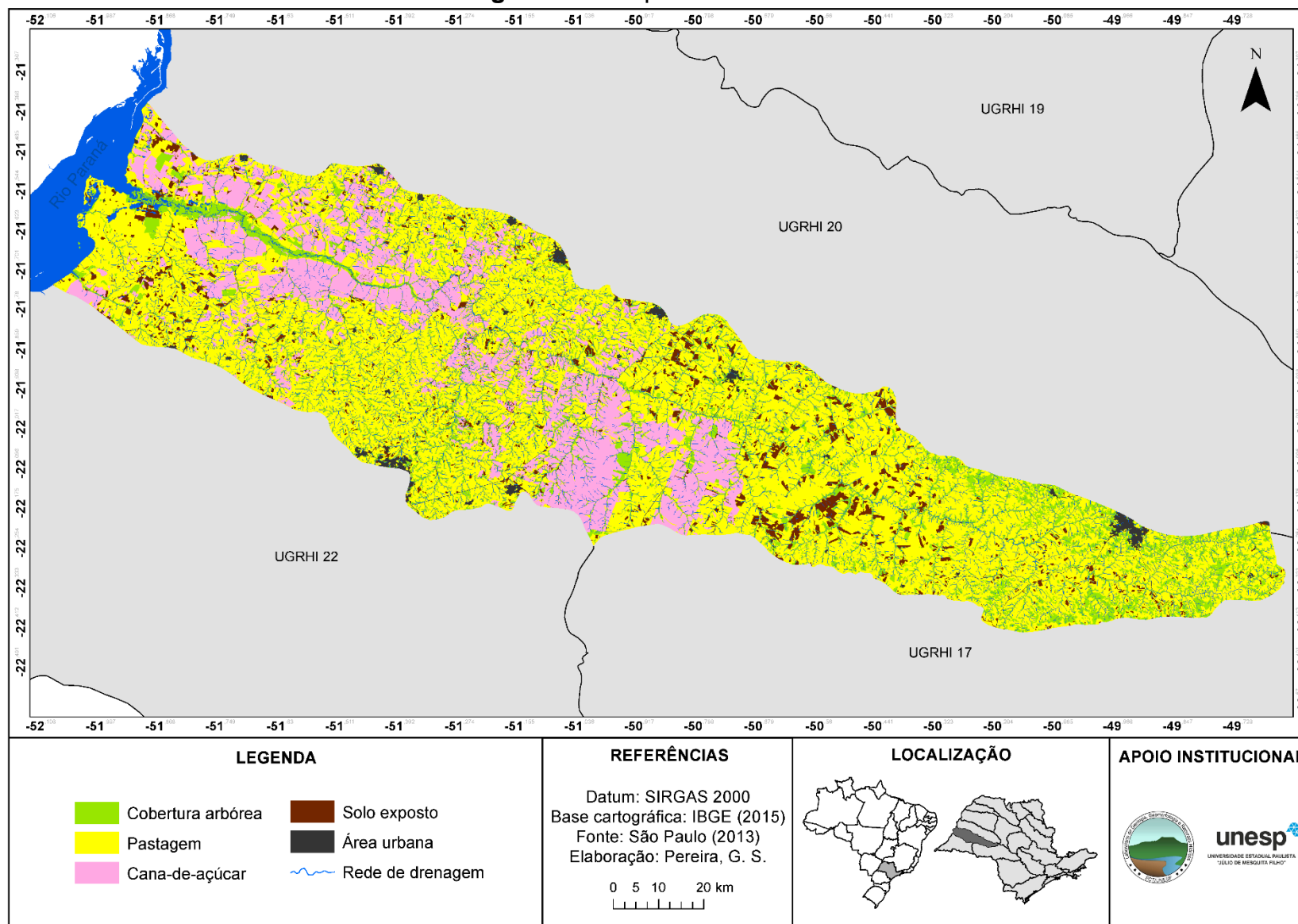
O Oeste Paulista, uma região que sofreu intensas transformações antropogênicas, ocasionadas pela da ação de grileiros e especuladores imobiliários, ocupada pelos cafeicultores e ainda atravessada por ferrovias, grandes consumidoras de lenha, teve sua vegetação natural, com predomínio de matas, rapidamente extinta e substituída por culturas e pastagens (p. 08).

Ainda segundo o autor:

Esta ocupação, extremamente agressiva, ocasionou ao Oeste Paulista, terríveis problemas associados à erosão. Toneladas de solo, oriundas dos horizontes superficiais, são transportadas para o fundo dos vales, a cada ano, provocando a diminuição da fertilidade natural do solo, assoreando os cursos d'água, destruindo estradas e obras de engenharia, gerando voçorocas que têm ameaçado grandes áreas rurais e urbanas (p. 09).

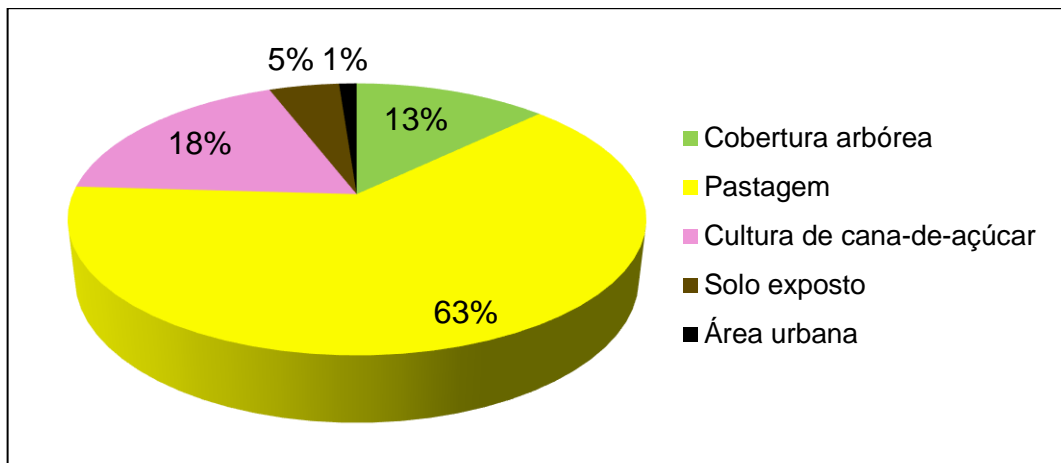
A Figura 28 apresenta o Mapa de uso da terra e posteriormente estão ilustradas cada uma das classes uso da terra encontrada na área de estudo.

Figura 28 – Mapa de uso da terra.



Verificamos que o uso predominante na UGRHI 21 é composta por pastagem, representando 63% da área total (Figura 29).

Figura 29 – Valores percentuais de cada classe de uso.



Elaborado pela autora.




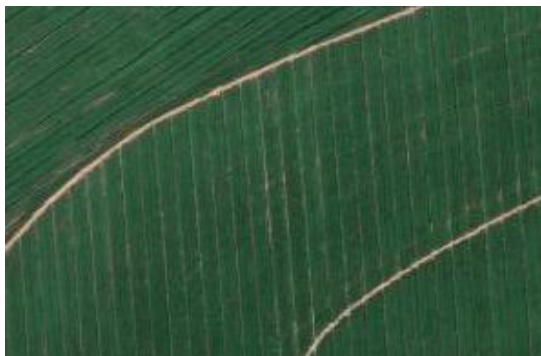
No Quadro 16 estão indicadas as definições e ilustrações correspondentes a cada uso da terra encontrada na área de estudo.

Quadro 16 – Índice das classes de uso da terra.

Uso	Descrição	Ilustração
Áreas urbanas	Compreende as áreas ocupadas pelas edificações e pelo sistema viário. Engloba todo o sistema urbano das cidades, municípios, distritos, vilas e vias pavimentadas.	
Solos expostos	Correspondem às áreas desprovidas de vegetação ou de cultura, exceto os afloramentos de rocha. As áreas com culturas em estágios iniciais de desenvolvimento também se enquadram nessa classe por apresentarem um padrão bem esparsa de cobertura do solo.	

Continua.

Cont. do Quadro 16.

Corpos d'água e áreas úmidas	Os Corpos d'água são representados pelos rios.	
Cobertura arbórea	É classificada como grupo de espécies constituídas por árvores de grande porte.	
Pastagem	Área de pasto, geralmente circundada por uma cerca e utilizada para a produção de forragem a ser consumida primariamente pelo animal em pastejo.	
Cana-de-açúcar	Conforme dados apresentados pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2015), a cultura de cana-de-açúcar vem apresentando expansão de 94% de área plantada no estado de São Paulo,	

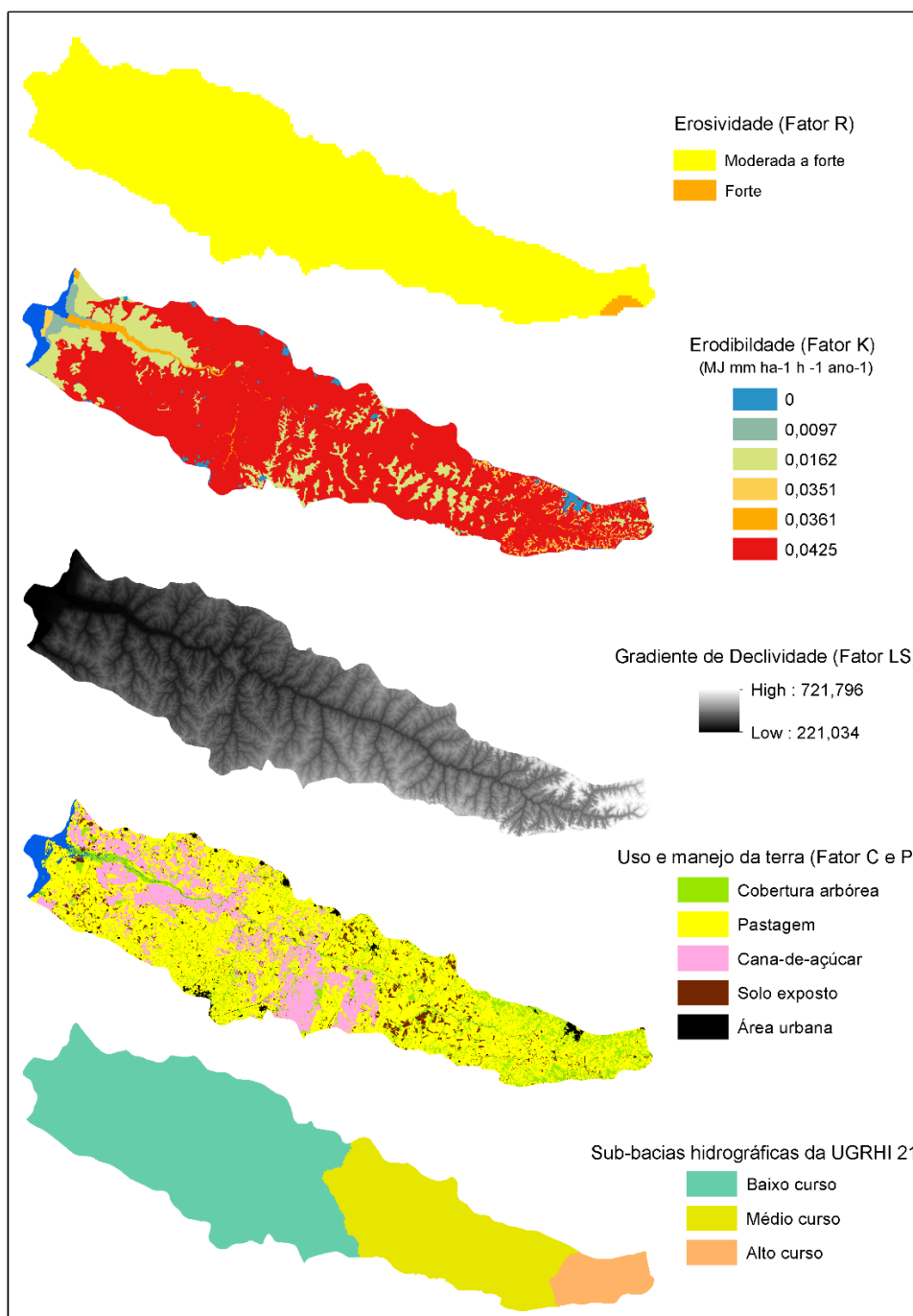
Elaborado pela autora.

A partir dos dados acima, fica mais fácil identificar como é o conjunto de elementos que compõe o uso da terra.

5.3 Estimativa de perda de solos por erosão laminar

Para aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo no ambiente InVEST, são necessários mapas secundários para análise dos fatores destacados no item 3.3.1.

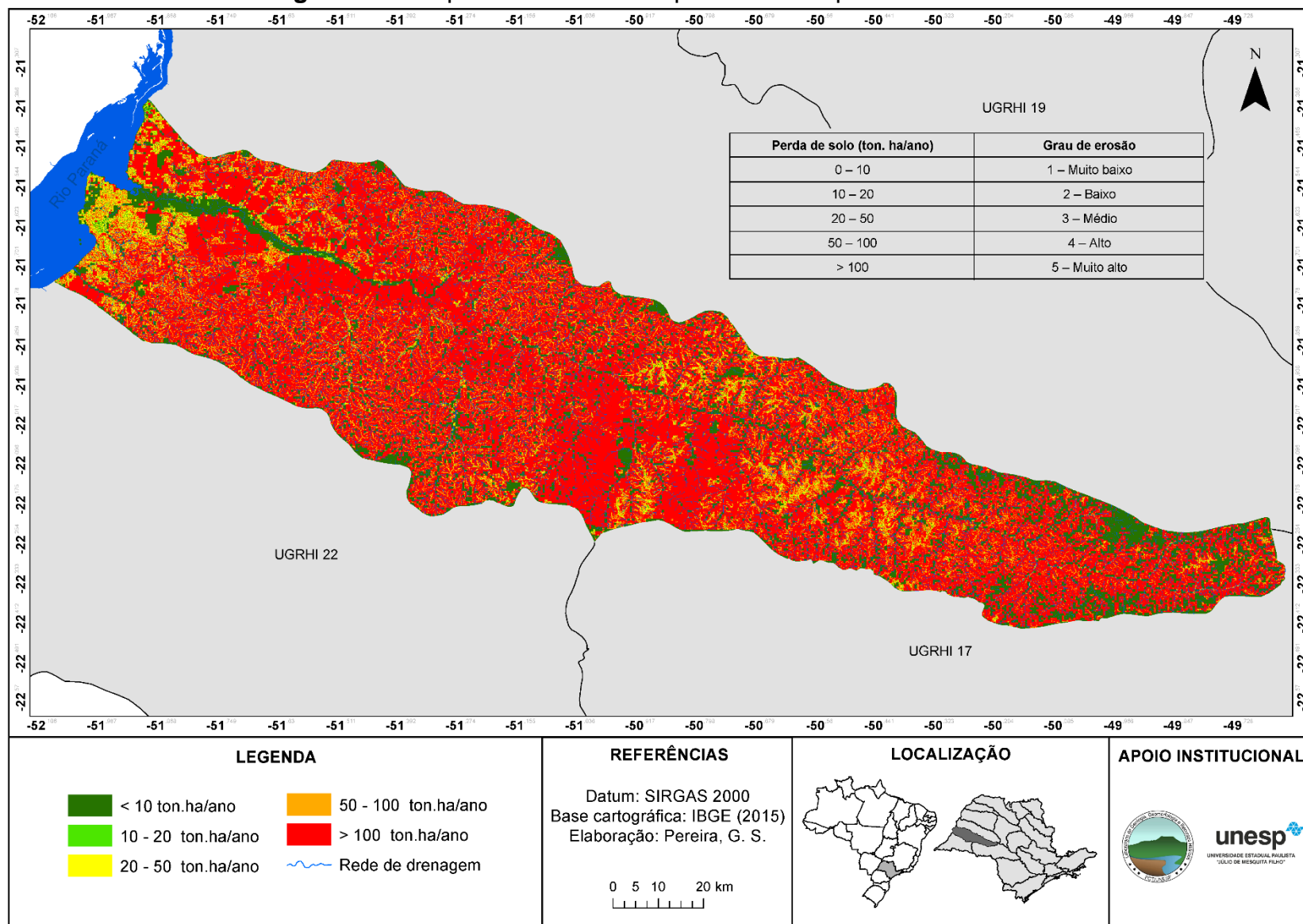
Figura 30 - Mapas intermediários utilizados na elaboração da EUPS.



Elaborado pela autora.

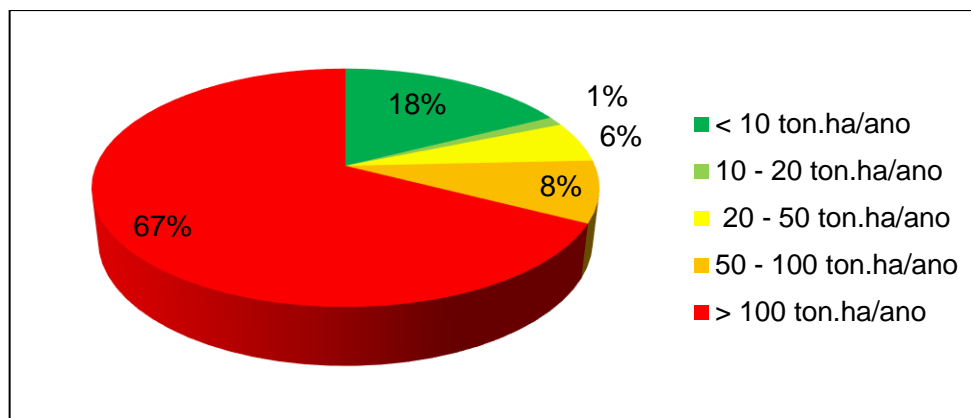
A Figura 31 apresenta o mapa de estimativa de perda de solo por erosão laminar na UGRHI 21.

Figura 31 – Mapa de estimativa de perda de solo por erosão laminar.



A partir do gráfico da distribuição da perda de solo (Figura 32) atribuímos que 67% da área de estudo têm perdas de mais de 100 ton.ha/ano. Desse modo, 75% da bacia apresenta uma situação bastante crítica, com graus de erosão Alto e Muito alto.

Figura 32 – Gráfico de perda de solo por classe.



Elaborado pela autora.

Já em relação a distribuição e área, verifica-se na Tabela 1, a quantidade total de perda de solo por hectare em cada uma das Unidades de Planejamento Hídrico, calculada pela EUPS.

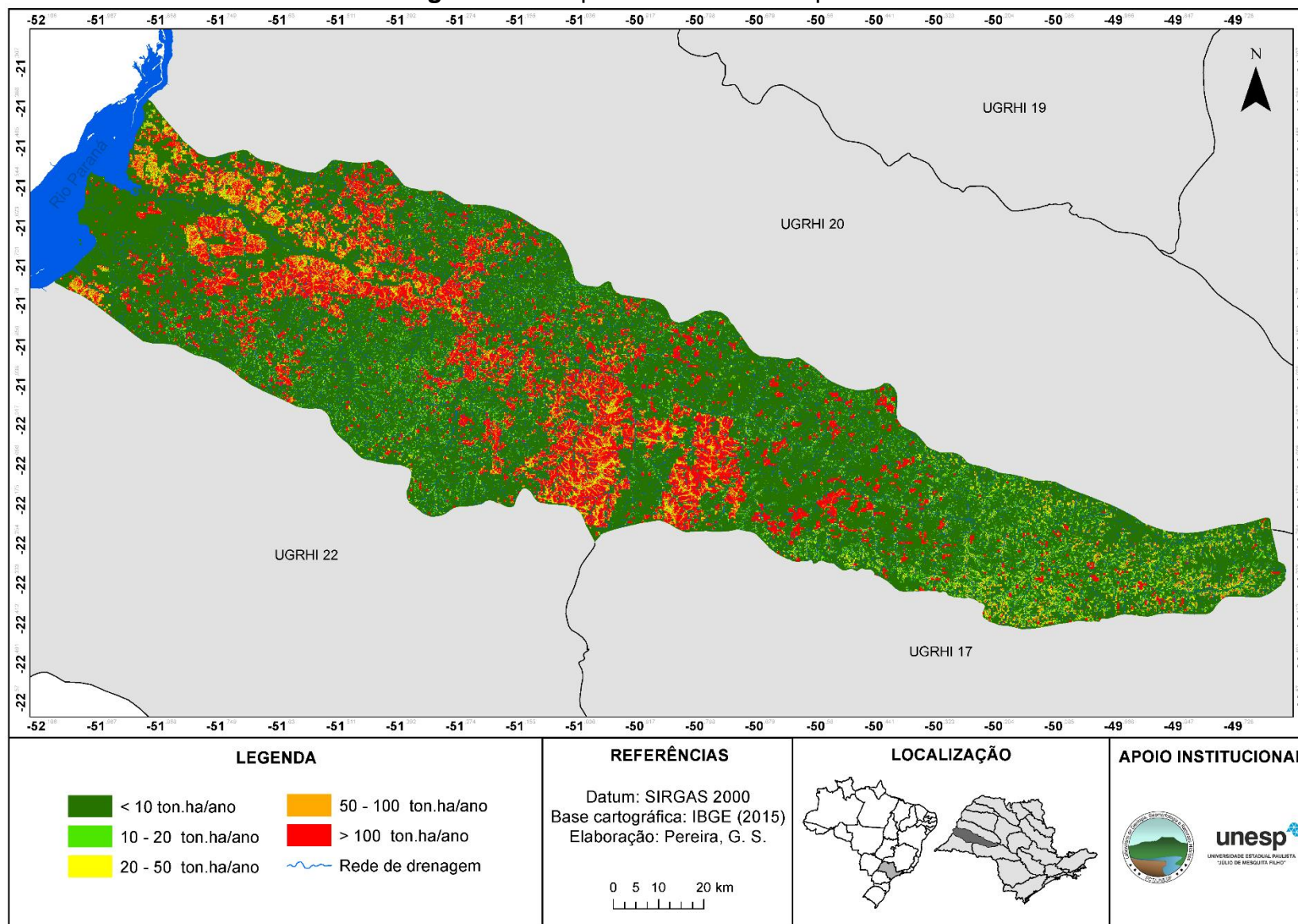
Tabela 1 – Perda de solo por UPH.

UPH	Perda de solo (ton/ano)	Área (ha)	Perda de solo por ha
Baixo curso	1.557.942.438	672.794	2.315,63
Médio curso	837.328.656	333.243	2.512,67
Alto curso	128.134.056	68.680	1.865,66

Elaborado pela autora.

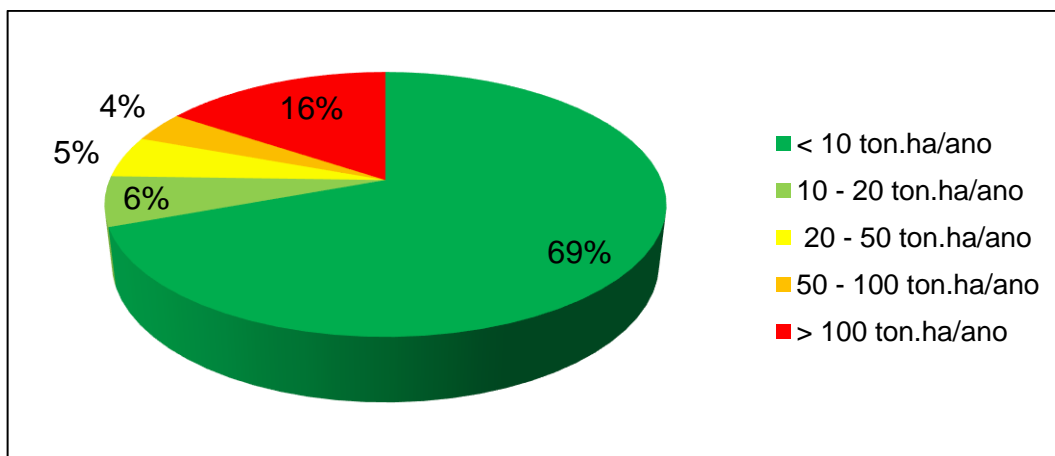
A maior perda de solo está situada na UPH do “Médio curso” com 2.512,67 ton/ha, correspondendo a 37% da área total da UGRHI 21, seguido do “Baixo curso” com 2.315,63 e correspondendo a 35% da área total. Já a taxa de exportação de sedimentos é definida como proporção de solo que é transportado de um ponto a outro nas vertentes de uma bacia hidrográfica (MARCHAMALO et al., 2011); a Figura 33 apresenta o mapa de sedimentos exportados e nos dá a dimensão da quantidade do material inconsolidado que pode chegar aos cursos fluviais.

Figura 33 – Mapa de sedimentos exportados.



Na Figura 34 é possível identificar as porcentagens de cada classe de exportação de sedimentos e 69% da UGRHI 21 apresenta “< 10 ton.ha/ano”, enquanto 16% apresenta taxas “> 100 ton.ha/ano”.

Figura 34 – Gráfico por classe de sedimento exportado.



Elaborado pela autora.

O modelo para a determinação da taxa de exportação de sedimentos considera a produção anual originada da área da bacia hidrográfica e o que atinge o curso d'água. Embora a erosão e a sedimentação sejam processos naturais, assim com o intemperismo, alguns fatores podem acelerar os processos e até mesmo alterá-los de forma significativa, como é o caso das mudanças do uso da terra.

Também é possível apontar a taxa de sedimentos exportados por Unidades de Planejamento Hídrico, indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Sedimento exportado por UPH.

UPH	Sedimento exportado (ton/ano)	Área (ha)	Sedimento exportado ton.ha
Baixo curso	77.062.365	672.794	115
Médio curso	46.583.761	33.3243	140
Alto curso	6.291.760	68.680	92

Elaborado pela autora.

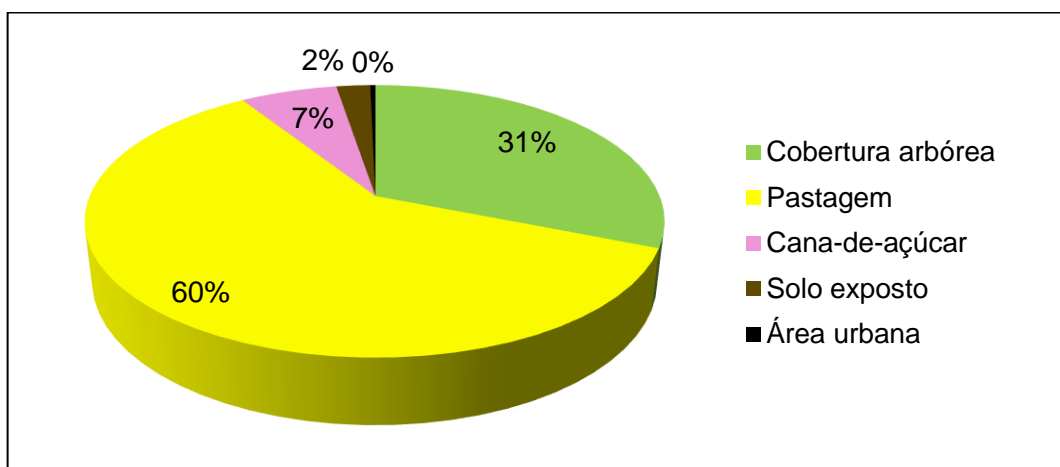
A UPH com o maior volume de sedimento exportado por hectare é a do “Médio curso”, com 140 ton.ha/ano enquanto a menor está localizada no “Alto curso” com 92 ton.ha/ano.

5.4 Simulação de recomposição florestal das APPs e estimativa de perda de solo e exportação de sedimentos

Em geral, a cobertura vegetal é mais suscetível a alterações humanas (BROOKS & BRIERLEY, 1997) e é um dos principais fatores que determinam a magnitude da erosão e entrega de sedimentos para um rio. Além disso, a vegetação desempenha um importante papel no controle da conectividade de sedimentos laterais, influencia a rugosidade da superfície e a capacidade local para armazenar sedimentos e água (PUIGDEFABREGAS et al, 1999).

Para investigar a influência da vegetação ripária na exportação de sedimentos foi necessário, primeiramente, identificar quais são os tipos de uso e cobertura da terra da terra presentes nas APPs. O resultado está demonstrado no gráfico da Figura 35 (destaca-se que as APPs hídricas, com 30 m de largura ao longo das margens dos cursos fluviais perfazem 1.111,82 Km², correspondendo a 10,35% da área total).

Figura 35 – Classes de uso da terra nas Áreas de Preservação Permanente.

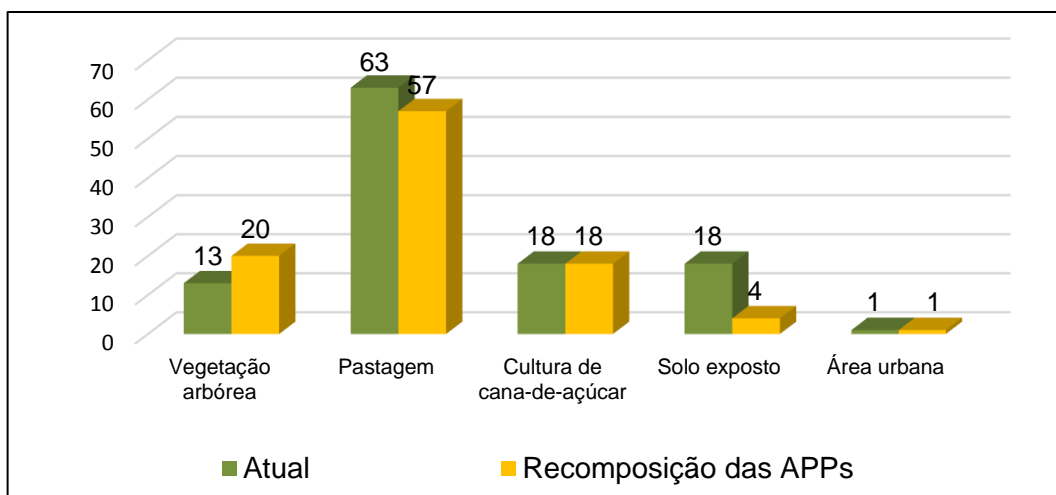


Elaborado pela autora.

Segundo a Figura 35, é possível constatar que a pastagem é a classe de uso da terra predominante, ocupando 60% das Áreas de Preservação Permanente. No cenário simulado, haveria um aumento de 69% nas áreas de APPs recoberta por vegetação arbórea e um acréscimo de 56,63% de áreas florestadas.

A Figura 36 apresenta os percentuais dos usos da terra atuais e no cenário simulado.

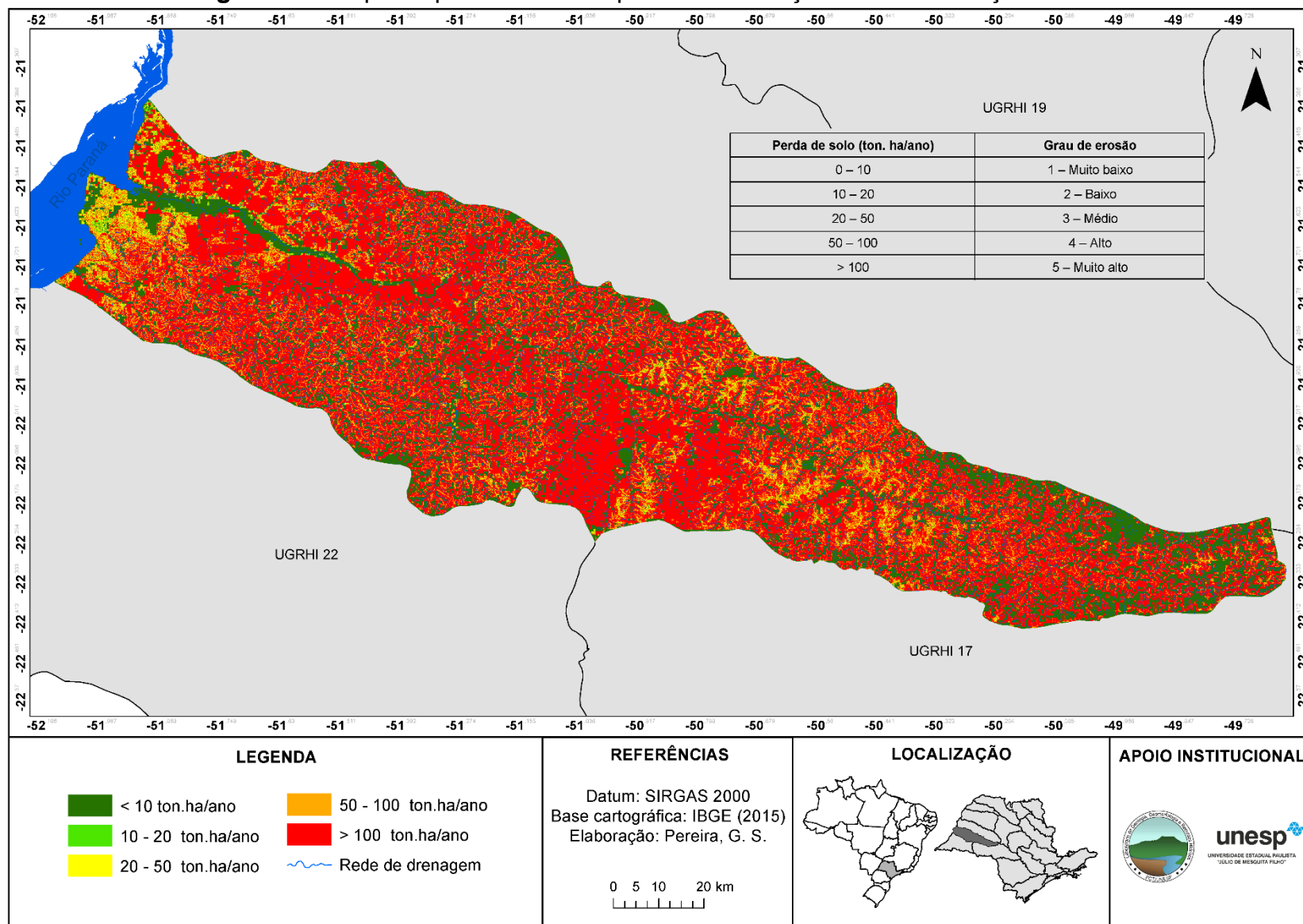
Figura 36 – Percentuais das classes de uso da terra atual e no cenário de recomposição das APPs.



Elaborado pela autora.

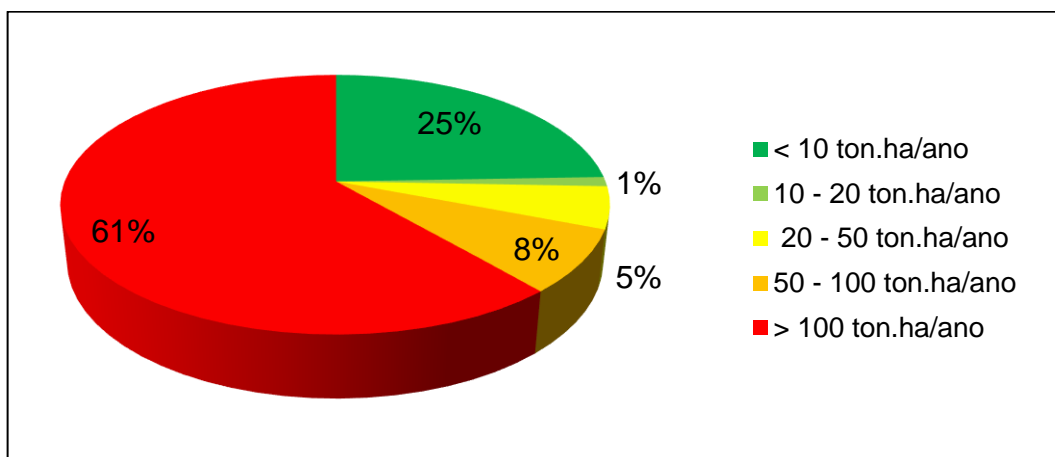
Há um aumento considerável de vegetação arbórea (13 para 20%) enquanto a pastagem e solo exposto diminuem (63 para 57% e 18 para 4%, respectivamente). Na Figura 37 é apresentado o mapa de perda de solo a partir da simulação de um cenário de recomposição da vegetação arbórea nas APPs.

Figura 37 - Mapa da perda de solo a partir da simulação de reconstituição da APP.



A Figura 38 apresenta as porcentagens de perda de solo para a projeção de recomposição da vegetação arbórea.

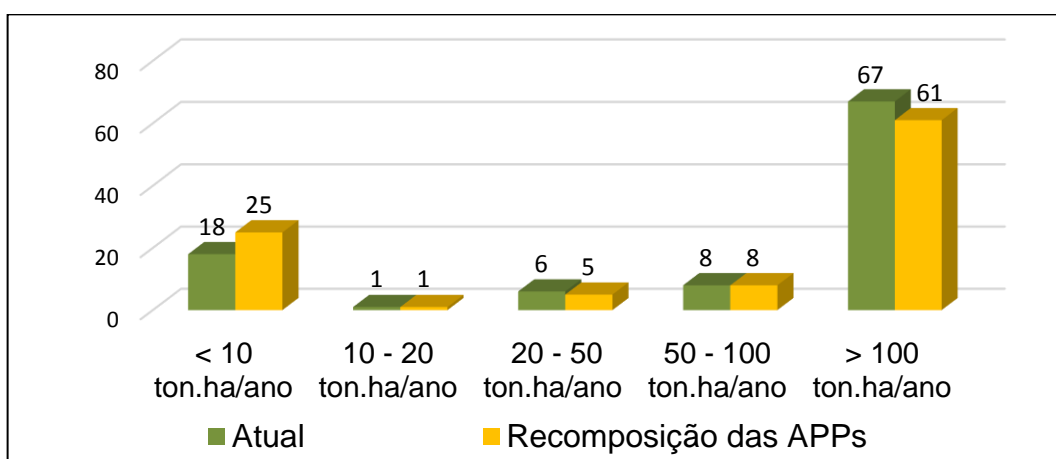
Figura 38 – Gráfico de perda de solo para o cenário de recomposição vegetação arbórea nas APPs.



Elaborado pela autora.

Identificamos (a partir das Figuras 38 e 39) que nesse cenário há um aumento de 7% das áreas com grau de erosão “Muito baixo” (0 -10 ton.ha/ano) e diminuição 6% das áreas com grau de erosão “Muito alto” (> 100 ton.ha/ano). Nas classes intermediárias não há grandes alterações na perda de solo.

Figura 39 – Gráfico comparativo entre a perda de solo no cenário atual e no cenário simulado, em porcentagem.



Elaborado pela autora.

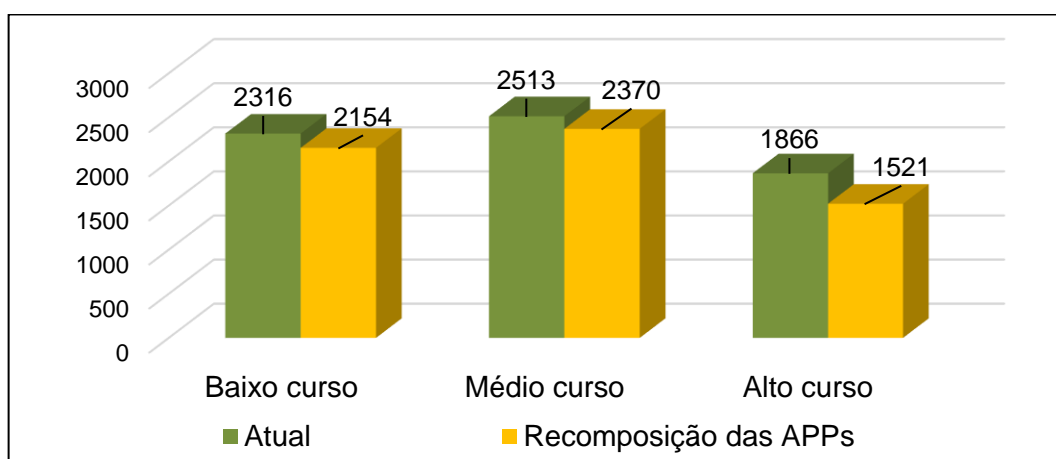
Por UPH, foi realizado os cálculos referente a perda de solo por hectare para entender as diferenças entre o que se dá no cenário atual e na simulação. A Tabela 3 indica os resultados obtidos.

Tabela 3 – Perda de solo por UPH através da recomposição das APPs.

UPH	Valores absolutos (Ton)	Área (ha)	Perda por ton.ha
Baixo curso	1.448.954.498	672.794	2.153,64
Médio curso	789.695.295	333.243	2.369,73
Alto curso	104.434.138	68.680	1.520,58

Elaborado pela autora.

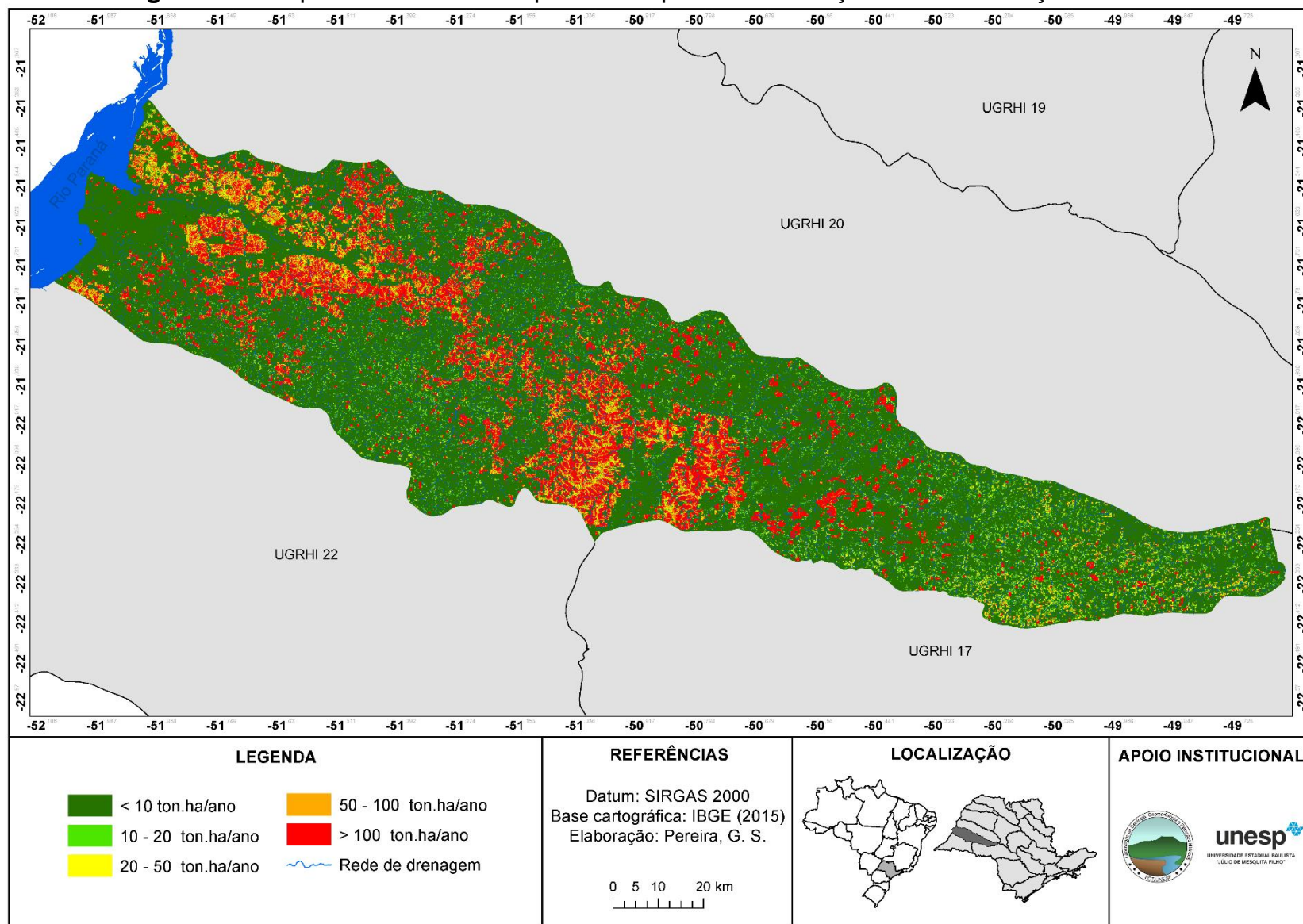
Os valores de perda diminuíram em todas as UPHs e mantiveram as porcentagens mais altas para o “Médio curso” com 2.369,73 ton/ha, seguido do “Baixo curso” com 2.153,64 ton/ha. Por meio da Figura 40 é possível comparar os dois resultados obtidos.

Figura 40 – Gráfico comparativo de perda de solo por UPH no cenário atual e no cenário simulado.

Elaborado pela autora.

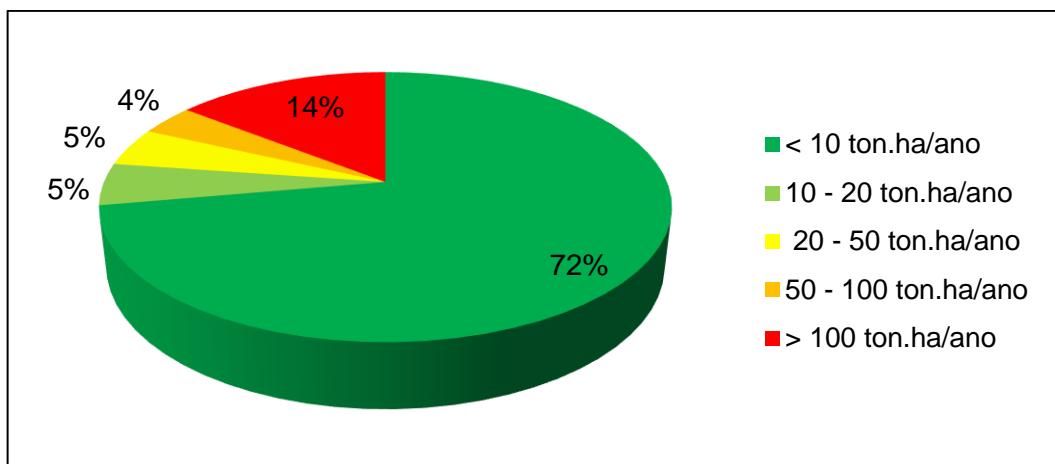
Colocando os resultados lado a lado é possível ter a perspectiva do quanto cada uma delas diminuiu, sendo: 161,99 ton/ha no “Baixo curso” (redução de 7%), 142,94 ton/ha no “Médio curso” (redução de 5,6%) e 345,08 ton/ha no “Alto curso” (redução de 18,5%). A Figura 41 apresenta a estimativa de sedimentos exportados no cenário de recomposição das APPs.

Figura 41 – Mapa de sedimentos exportados a partir da simulação da reconstituição das APPs.



Os valores de sedimento exportado para a UGRHI 21 a partir da projeção de cenário demonstra que 72% da área total está inserida na classe de “<10 ton.ha/ano”, de acordo com a Figura 42.

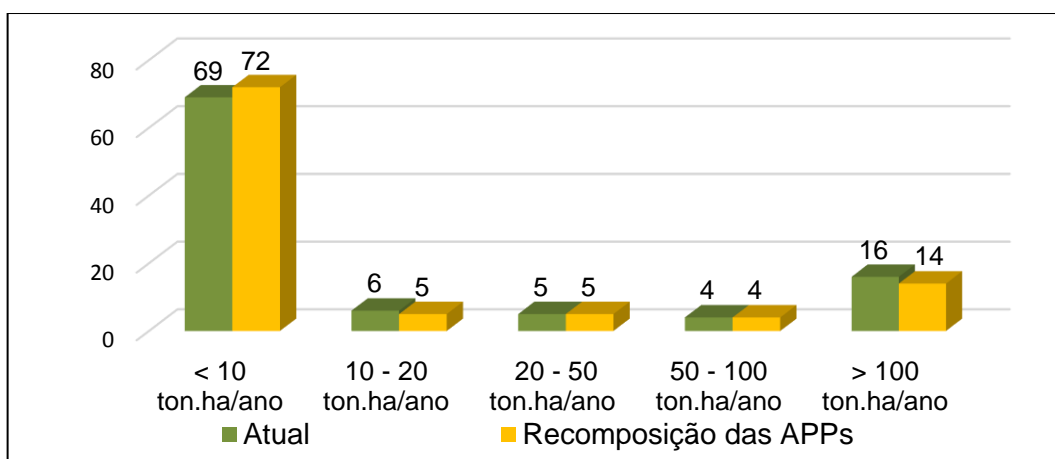
Figura 42 – Gráfico por classe de sedimento exportado a partir da simulação da reconstituição das APPs.



Elaborado pela autora.

Através da dos cálculos do SIG em relação a situação atual da área de estudo e da simulação foi possível identificar, pela Figura 43, que as principais mudanças foram em relação aos níveis mais baixos e altos de sedimentos exportados.

Figura 43 – Gráfico comparativo de sedimento exportado no cenário atual e no cenário simulado, em porcentagem.



Elaborado pela autora.

Na classe de exportação de sedimento “<10 ton.ha/ano” houve um aumento de 3%, para “10 - 20 ton.ha/ano” houve uma diminuição de 1%, para “20 - 50 ton.ha/ano”, na classe “50 - 100 ton.ha/ano” a porcentagem continuou a mesma enquanto a classe “<100 ton.ha/ano” teve uma diminuição de 2%. Já na Tabela 4,

está indicado a quantidade de sedimento exportado por UPH no cenário de recomposição das áreas de preservação permanente.

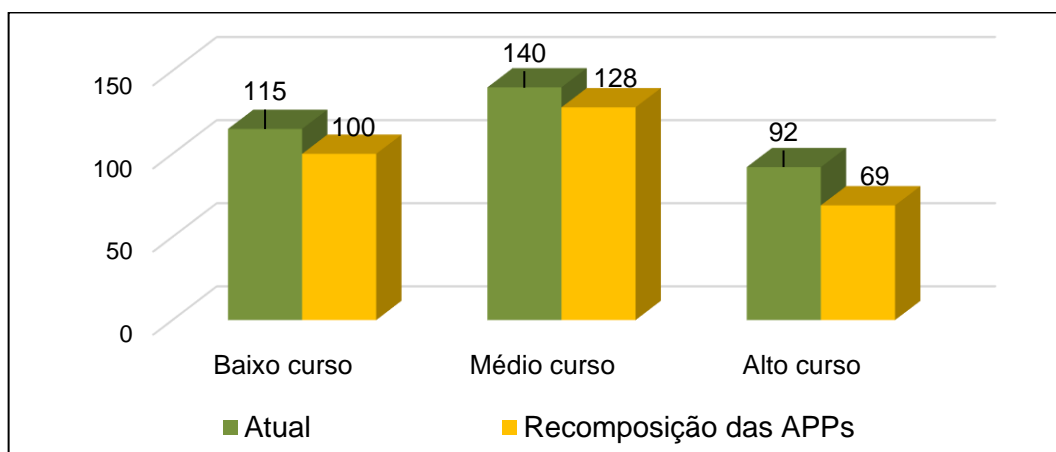
Tabela 4 – Sedimento exportado por UPH através da recomposição das APPs.

UPH	Sedimento exportado (ton/ano)	Área (ha)	Sedimento exportado por ton.ha
Baixo curso	67.040.667	672.794	100
Médio curso	42.497.722	333.243	128
Alto curso	4.735.420	68.680	69

Elaborado pela autora.

O “Médio curso” exporta 128 ton.ha/ano enquanto o “Alto curso”, 69 ton.ha/ano. Na Figura 44 estão comparados os valores do cenário atual e da projeção de recomposição.

Figura 44 – Comparação de sedimento exportado por UPH.



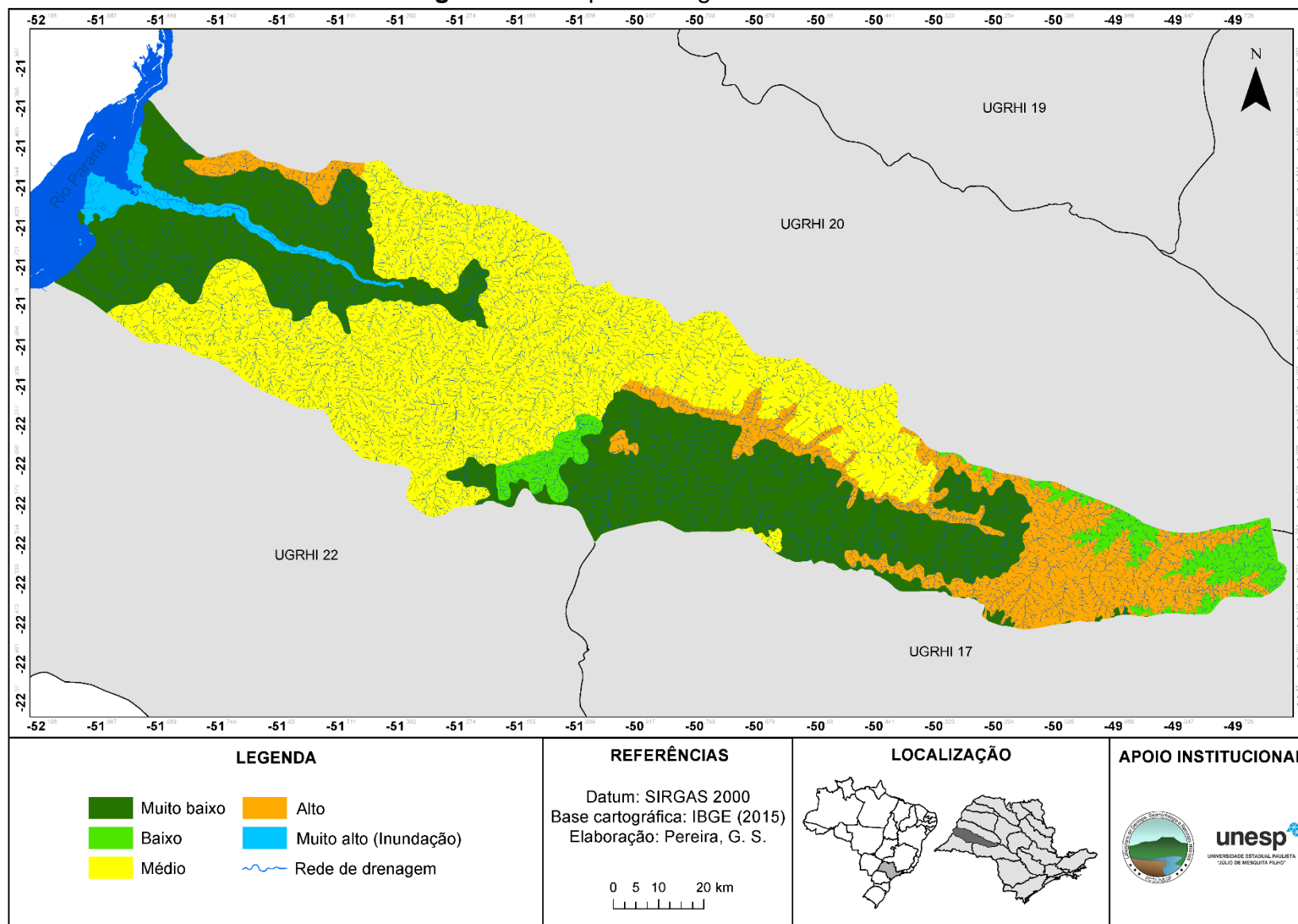
Elaborado pela autora.

Por meio da comparação dos resultados é plausível concluir que houve uma diminuição dos valores de exportação de sedimentos em todas as UPHs, sendo que a UPH “Baixo Curso” apresentou redução de 13%, “Médio Curso” apresentou redução de 8,5% e “Alto Curso”, redução de 25%.

5.5 Diagnóstico da Fragilidade ambiental

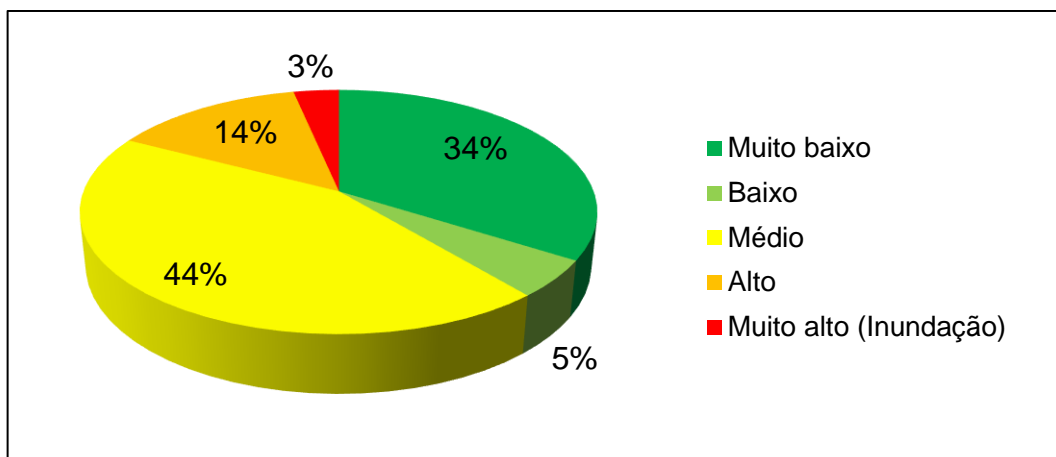
A metodologia de fragilidade empírica proposta por Ross (1994) se fundamenta na ideia de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes a partir dos dados de relevo, solo, geologia e uso da terra. A Figura 45 demonstra o resultado referente à Fragilidade do Relevo.

Figura 45 – Mapa de Fragilidade do Relevo.



A classificação dos níveis de fragilidade do relevo foi elaborada a partir dos índices de dissecação do relevo, conforme proposto por Ross (1994). De forma geral, a UGRHI 21 apresenta nível “Médio” (44% de sua área total) e, secundariamente, o nível “Muito baixo”, ocupando 34% (Figura 46).

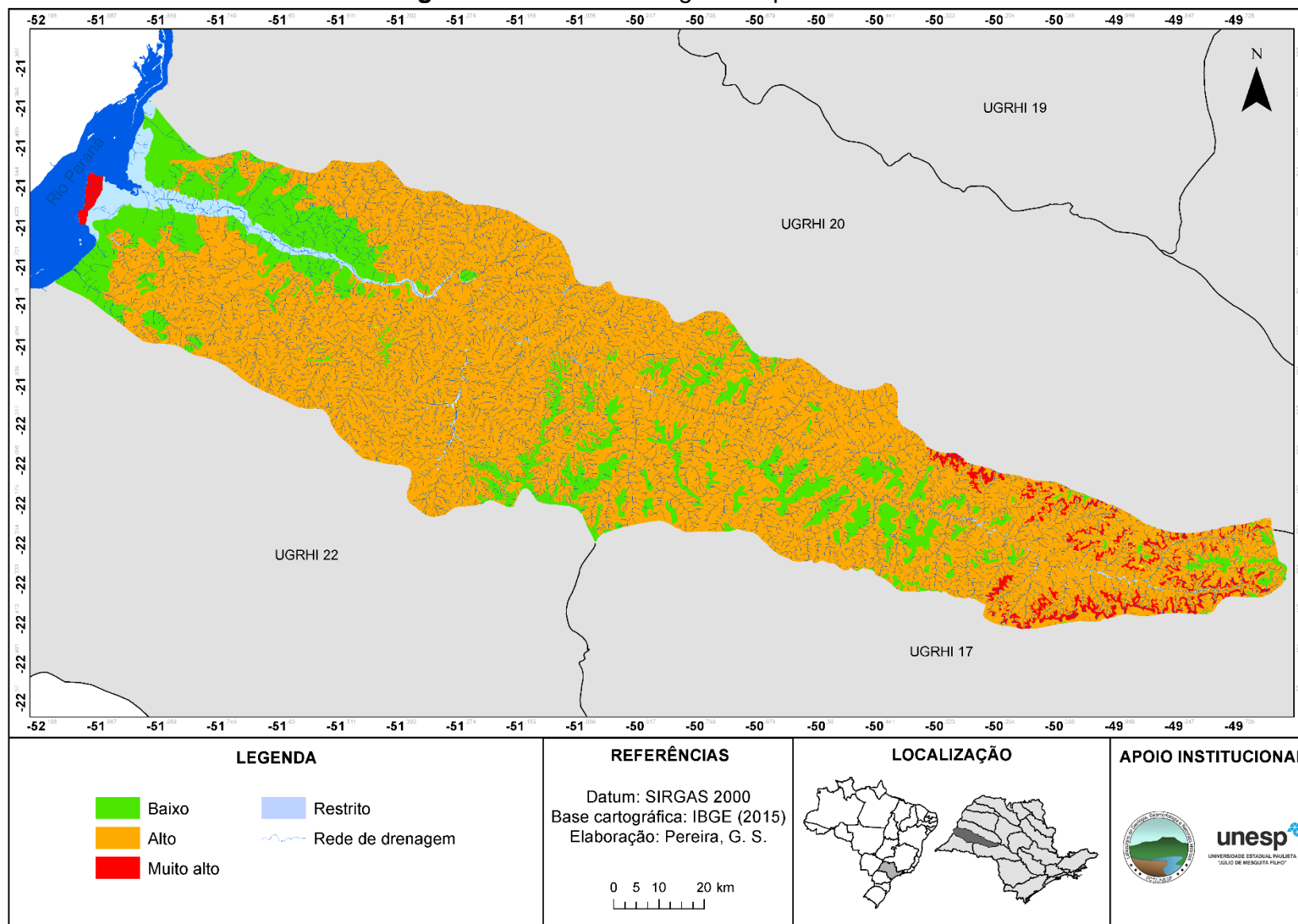
Figura 46 – Gráfico percentual das classes de Fragilidade do Relevo.



Elaborado pela autora.

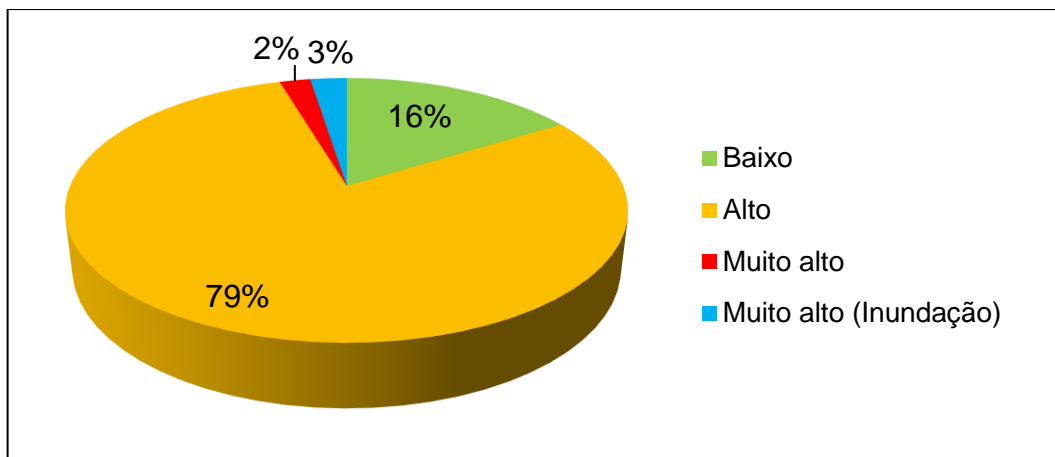
A partir da correlação entre o Mapa de Fragilidade do Relevo e Mapa de Fragilidade dos Solos (Figura 47), foi possível obter o Mapa de Fragilidade Potencial (Figura 50).

Figura 47 – Níveis de fragilidade para os solos.



A Figura 48 apresenta a ocorrência dos níveis de fragilidade do solo para a UGRHI 21, logo se observa que 79% da área de estudo tem solos com alta suscetibilidade aos processos erosivos lineares e apenas 16% da área exibe solos de baixa fragilidade.

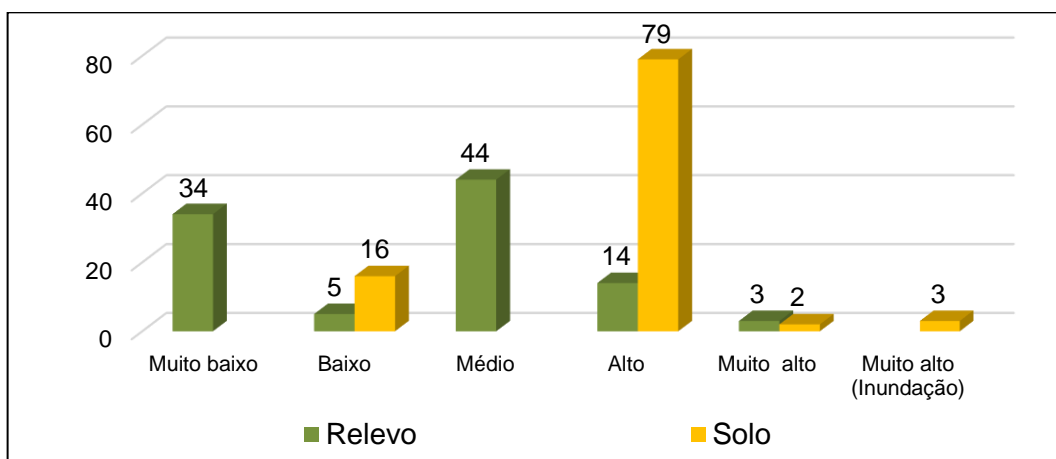
Figura 48 – Gráfico dos níveis de fragilidade do solo por classe.



Elaborado pela autora.

Na Figura 49, é apresentada a comparação entre as fragilidades do relevo e dos solos.

Figura 49 – Comparação entre as fragilidades do relevo e do solo (em porcentagem).

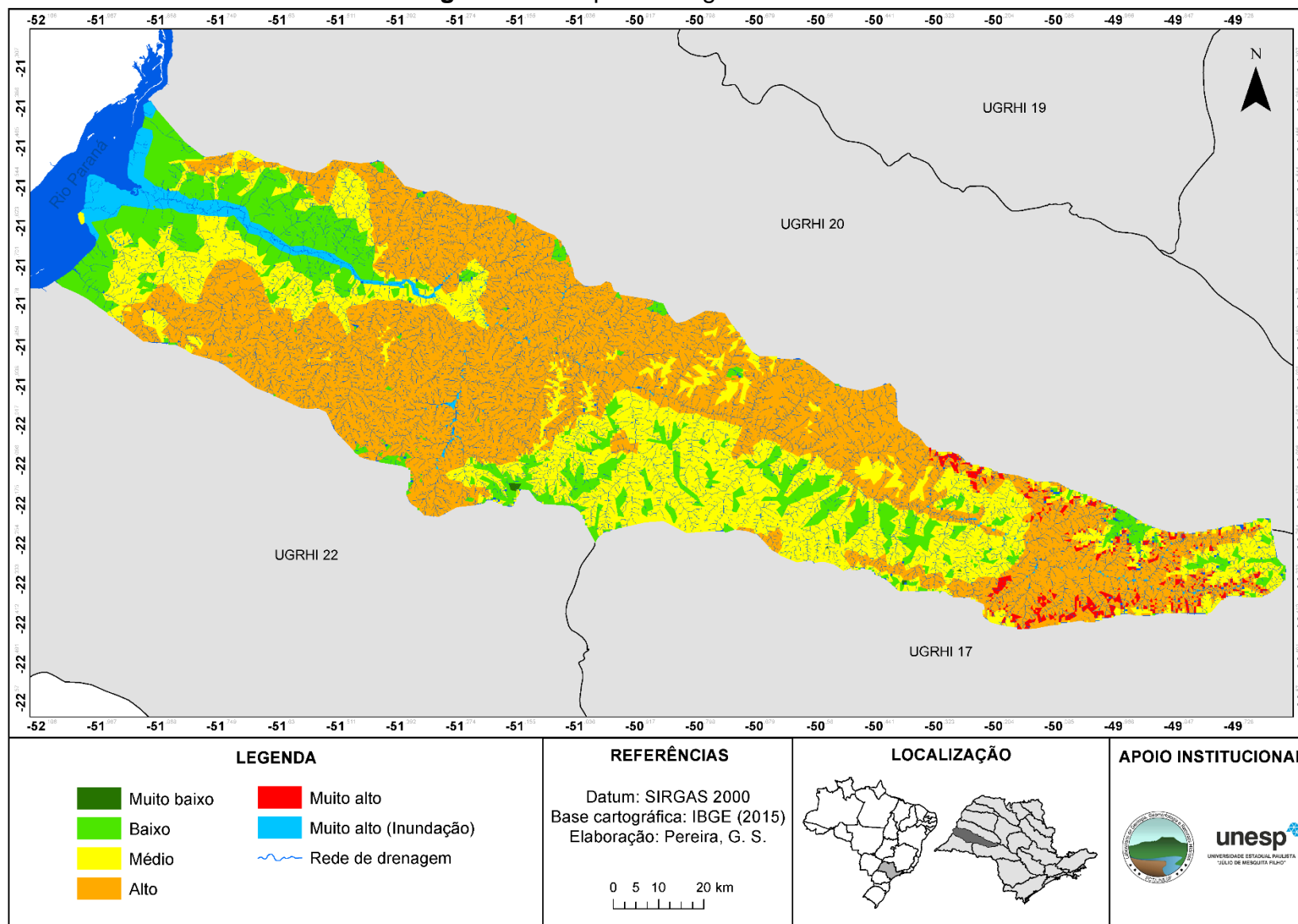


Elaborado pela autora.

Os níveis “Muito baixo” e “Médio” apareceram apenas para a variável relevo enquanto o nível “Alto” sobressai na fragilidade do solo.

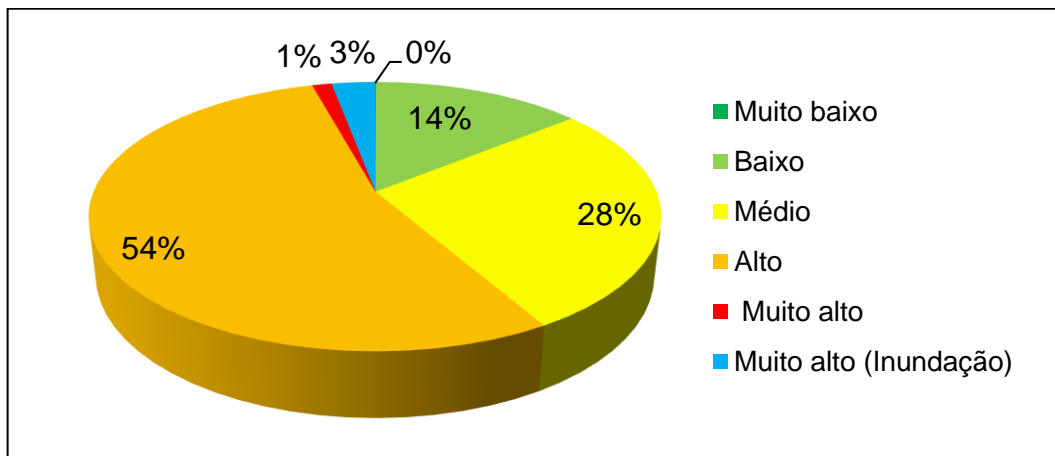
A Figura 50 apresenta o Mapa de Fragilidade Potencial, obtido a partir da sobreposição ponderada entre o Mapa de Fragilidade do Relevo e o Mapa de Fragilidade dos Solos.

Figura 50 – Mapa de Fragilidade Potencial.



O nível de Fragilidade Potencial “Alto” foi observado ao longo de toda a bacia, ocupando 54% do total, conforme Figura 51. As áreas consideradas como sendo de “Baixo” Fragilidade Potencial ocupam 14 % da área total da UGRHI 21 enquanto o nível “Alto” ocupa 54%.

Figura 51 – Gráfico de Fragilidade Potencial por classe.

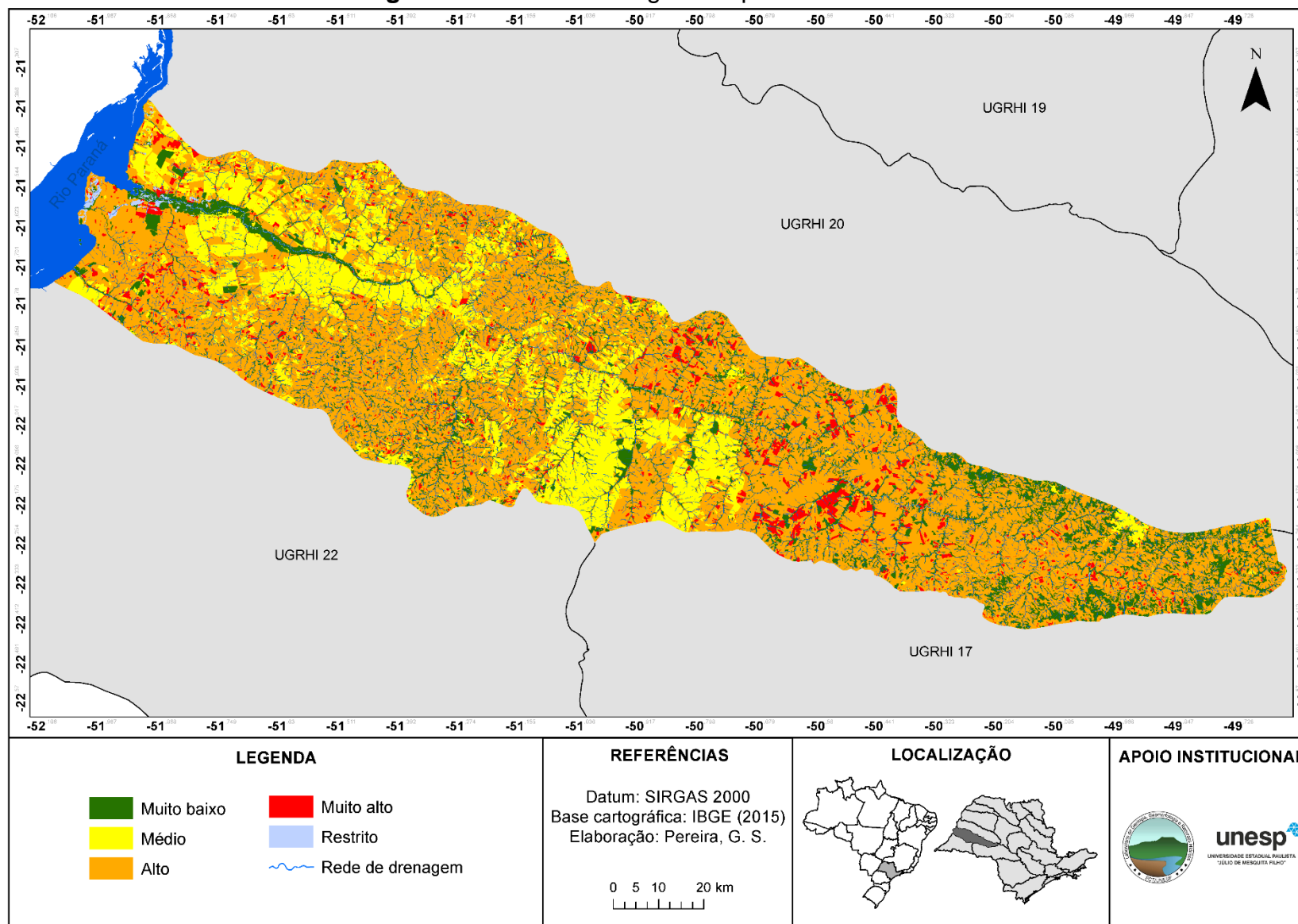


Elaborado pela autora.

O fato da UGRHI 21 ser classificada em sua maioria com uma alta suscetibilidade natural aos processos erosivos lineares explicita a relevância e necessidade de estudos prévios para a adoção de medidas preventivas no planejamento ambiental e de uso da terra, visando a manutenção do equilíbrio dinâmico nessas áreas, de maneira que a qualidade ambiental não venha a ser deteriorada. Ao compararmos os níveis de fragilidade do relevo e dos solos, é possível constatar que a variável solos contribui bastante para o desencadeamento de processos erosivo, pois apresenta 77% com alta fragilidade.

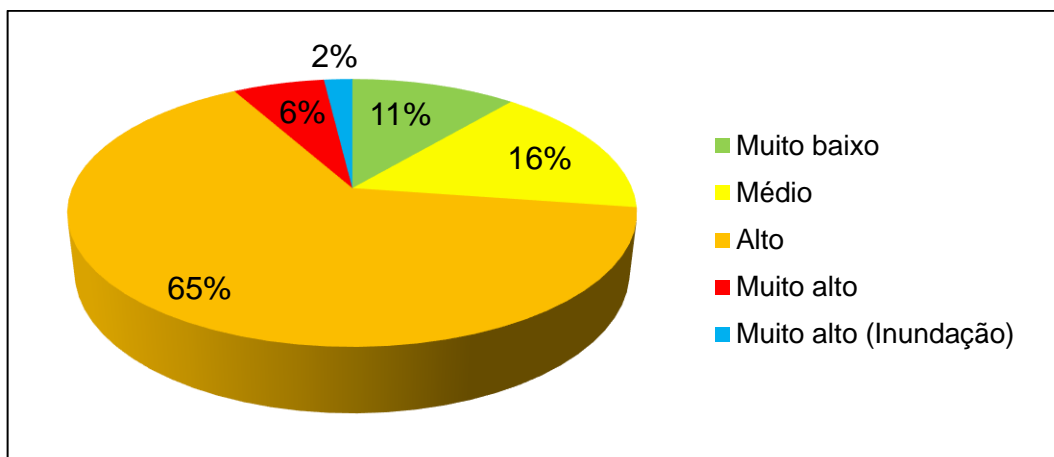
Ao fazer a sobreposição ponderada do Mapa de Fragilidade Potencial e Mapa dos níveis de fragilidade para o uso da terra (Figura 52), foi obtido o Mapa de Fragilidade Emergente, apresentado na Figura 55.

Figura 52 – Níveis de fragilidade para o uso da terra.



A Figura 53 apresenta a ocorrência dos níveis de fragilidade no uso da terra para a UGRHI 21.

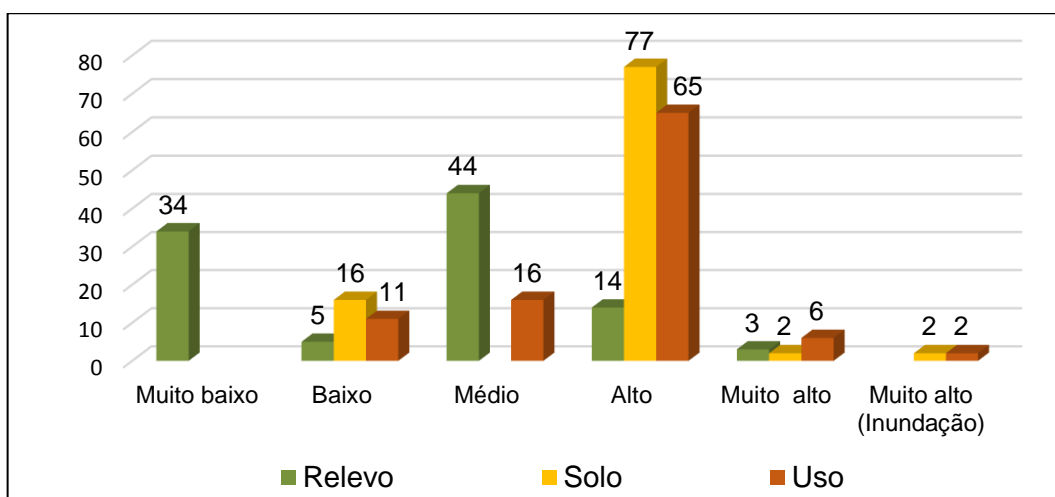
Figura 53 – Níveis de fragilidade do solo por classe.



Elaborado pela autora.

Conforme se analisa, 65% da área de estudo apresenta usos da terra que representam alta fragilidade para processos erosivos lineares e apenas 11% é identificado como baixa. Na Figura 54, é apresentado a comparação entre os níveis de fragilidade do relevo, solo e uso da terra.

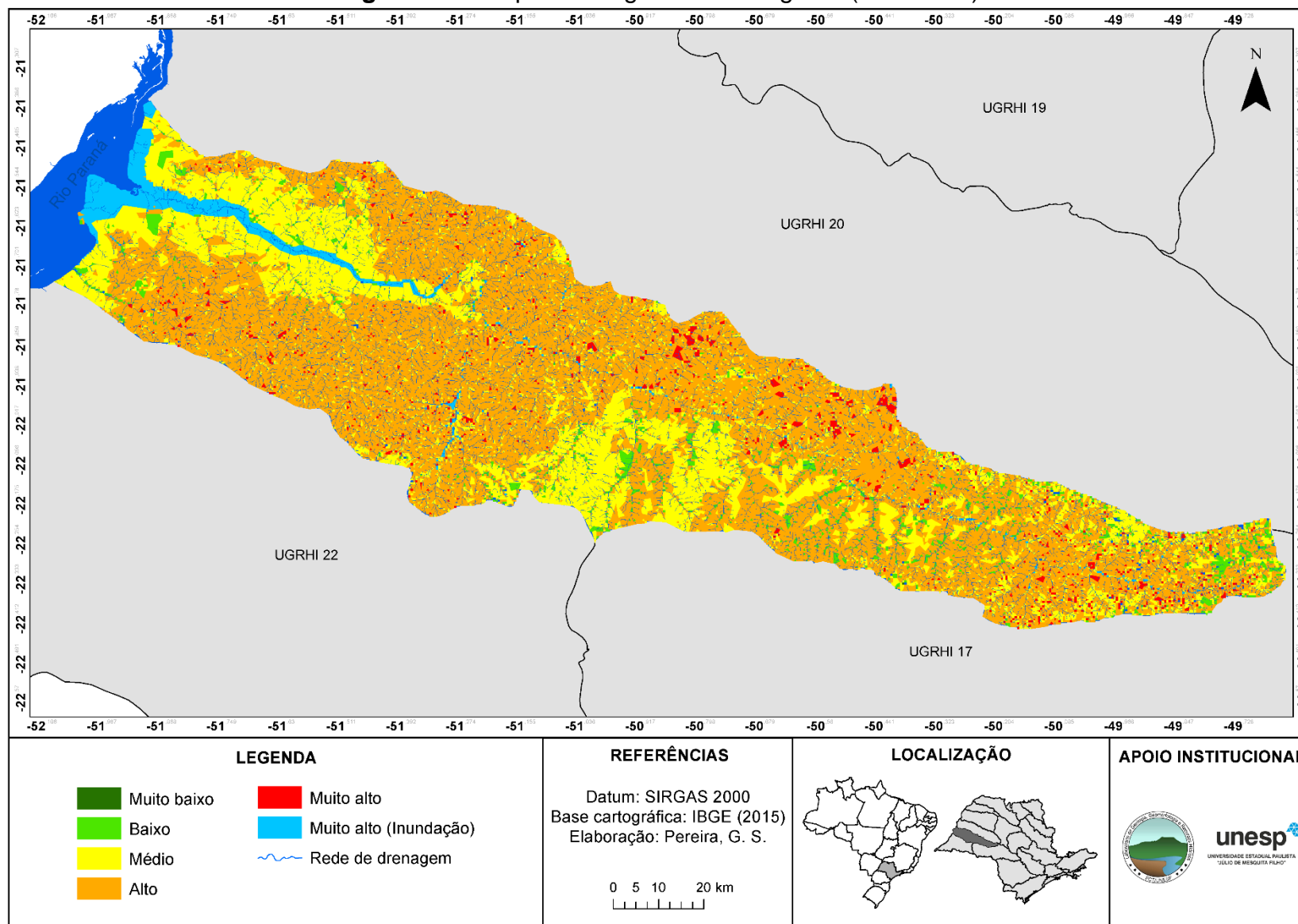
Figura 54 – Comparação entre os níveis de fragilidade do relevo, solo e uso (em porcentagem).



Elaborado pela autora.

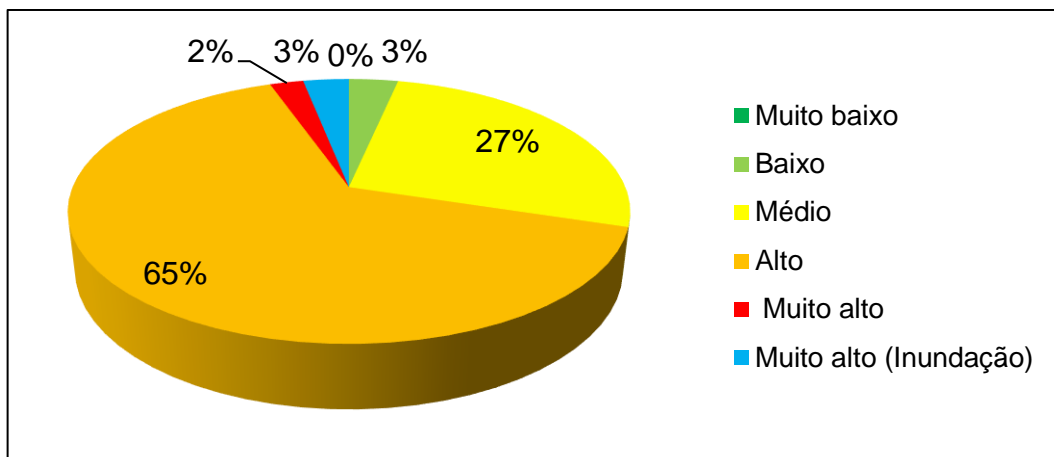
Como é possível observar, os níveis de fragilidade “Alto” são muito representativos tanto para a variável solos quanto para o uso da terra. Já a Figura 55 apresenta o Mapa de Fragilidade Emergente.

Figura 55 – Mapa de Fragilidade Emergente (Ambiental).



A Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Rio do Peixe apresenta as fragilidades: “Baixo” (3%), “Médio” (27%), “Alto” (65%) e “Muito alto” (2%) face aos processos erosivos pluviais, além das áreas de planície de inundação (Figura 56).

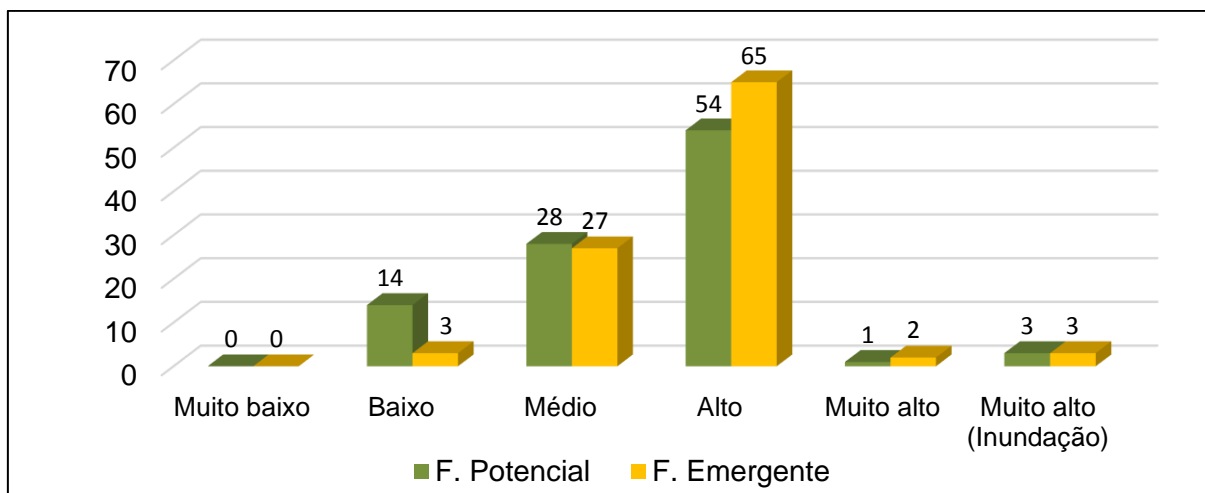
Figura 56 – Gráfico de Fragilidade Emergente (Ambiental) por classe.



Elaborado pela autora.

Para uma melhor visualização e comparação dos níveis de Fragilidade Potencial e Emergente, foi elaborado o gráfico da Figura 57 e nele é possível identificar que nos dois casos predominam o nível de fragilidade “Alto”. Entretanto, na Fragilidade Emergente, há diminuição dos níveis “Baixo” e “Médio e aumento de áreas com níveis “Alto” e “Muito alto”. Tais resultados indicam que os tipos de uso da terra na UGRHI 21, têm contribuído para o aumento da suscetibilidade à erosão linear.

Figura 57 – Gráfico comparativo entre as áreas (em porcentagem) dos Mapas de Fragilidade.



Elaborado pela autora.

Há uma equivalência entre os níveis “Muito baixo”, “Médio” e “Muito alto” para a Fragilidade Potencial e Emergente enquanto o “Baixo” tem valores maiores para a Potencial e o “Alto” para a Emergente.

5.6 Processos erosivos na UGRHI 21 e análise individual das variáveis do meio físico e antrópico

Conforme apresentado no item 5.2, 63% da área total da bacia corresponde a pastagens e, 18% é ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar. A partir dos dados de uso, é possível verificar que a escassez de cobertura arbórea associada a grandes áreas de pastagem e solo exposto contribuem significativamente com o quadro estabelecido em relação aos inúmeros processos erosivos.

Os solos, através de atividades desenvolvidas diretamente sobre eles, como a agricultura, ou atividades desenvolvidas em áreas urbanas, como a industrialização, estão sempre ameaçados de degradação. Os custos de sua recuperação são geralmente elevados e, por isso mesmo, quase nunca são efetivados. Entretanto, os custos de práticas de conservação são quase sempre mais baixos, e os resultados obtidos em várias partes do mundo, têm demonstrado sua eficiência (GUERRA, 1994, p.187).

O processo de degradação do solo devido à pecuária inadequada pode ser dividido em três etapas, cada uma com características bem específicas. Na primeira etapa, as propriedades originais do solo são gradativamente destruídas, e este processo não é óbvio, porque ocorre muito lentamente.

No segundo estágio, as perdas da matéria orgânica se evidenciam; o solo é compactado na superfície impedindo a infiltração da água e penetração das raízes. A erosão acentua-se e as pastagens começam a ter respostas ineficientes no uso de corretivos e fertilizantes (em seguida, a área descoberta é evidenciada). No estágio final, as propriedades físicas e químicas do solo são severamente danificadas dificultando ou mesmo impedindo as operações com máquinas agrícolas.

Assim, é possível entender o fato de que dos principais problemas apontados no Plano de Bacia da UGRHI 21, a degradação dos terrenos pelos processos erosivos urbanos e rurais aparece como um dos mais graves, por ter atingido milhares de metros cúbicos de solo, destruindo terras agricultáveis, equipamentos urbanos e obras civis, e impactando de forma significativa os recursos hídricos. De acordo com estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2012)

foram identificados 6902 focos erosivos (Tabela 5) na área de estudo, sendo 172 erosões urbanas (76 ravinas e 89 voçorocas) e 6730 rurais (1461 ravinas e 5364 voçorocas).

Tabela 5 – Quantidade de erosões urbanas e rurais.

Município	Erosão urbana	Erosão rural	Erosão total
Adamantina	20	31	51
Alfredo Marcondes	3	154	157
Álvares Machado	30	109	139
Bastos	3	45	48
Borá	0	91	91
Caiabu	7	314	321
Caiuá	0	50	50
Dracena	1	71	72
Echaporã	0	163	163
Emilianópolis	2	103	105
Flora Rica	1	143	144
Flórida Paulista	4	120	124
Garça	1	231	232
Herculândia	0	38	38
Iacri	0	5	5
Indiana	7	98	105
Inúbia Paulista	2	24	26
Irapuru	4	52	56
João Ramalho	0	34	34
Junqueirópolis	6	65	71
Lucélia	0	74	74
Lupércio	0	5	5
Lutécia	0	202	202
Mariápolis	9	195	204
Marília	23	341	364
Martinópolis	5	416	421
Ocaçu	0	45	45
Oriente	2	136	138
Oscar Bressane	4	322	326

Continua.

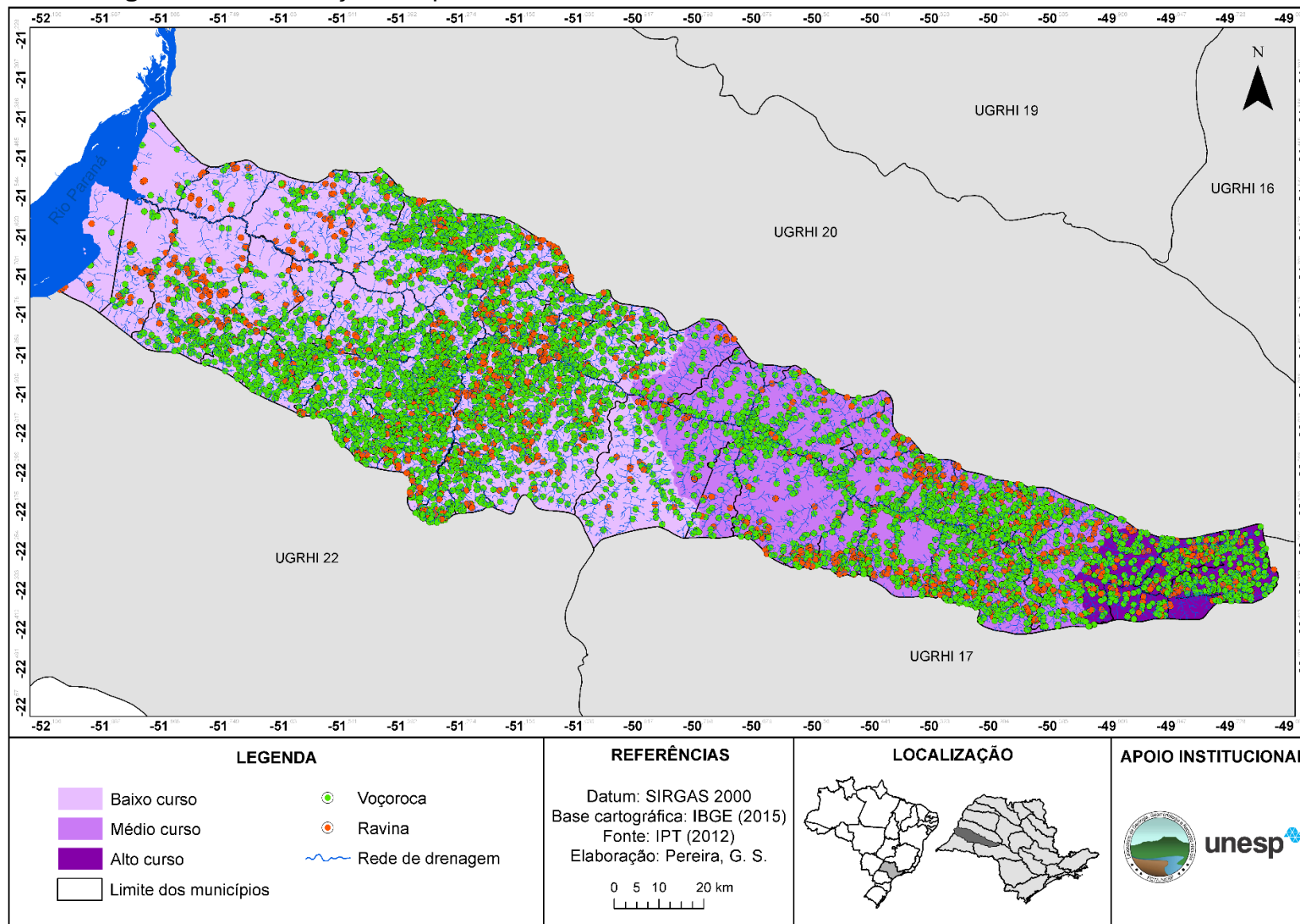
Cont. da Tabela 5.

Oswaldo Cruz	3	38	41
Ouro Verde	2	19	21
Pacaembu	0	144	144
Panorama	0	14	14
Parapuã	0	58	58
Piquerobi	1	147	148
Pompéia	0	273	273
Pracinha	1	69	70
Presidente Bernardes	0	184	184
Presidente Epitácio	0	12	12
Presidente Prudente	21	597	618
Presidente Venceslau	2	208	210
Quatá	1	207	208
Quintana	0	204	204
Rancharia	0	140	140
Regente Feijó	0	65	65
Ribeirão dos Índios	1	83	84
Sagres	1	113	114
Santo Anastácio	0	113	113
Santo Expedito	5	74	79
Tupã	0	143	143
Vera Cruz	0	148	148
Total	172	6730	6902

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2012 / Organizado pela autora.

Além do desmatamento, atividades agropecuárias e expansão urbana também são causas de alterações no equilíbrio da paisagem que acarretam no alto índice de feições erosivas. Na Figura 58, estão localizados os processos erosivos identificados pelo IPT (2012).

Figura 58 – Localização dos processos erosivos no baixo, médio e alto curso do Rio do Peixe - SP.



Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), as Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) “são subdivisões das bacias hidrográficas estudadas, caracterizadas por uma homogeneidade de fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos que permitem a organização do planejamento e do aproveitamento dos recursos hídricos ali existentes” (ANA, 2017, online). Tratando especificamente na compartimentação da drenagem, no alto curso da bacia é onde se encontram as cabeceiras dos rios e, de modo geral, apresentam valores de declives acentuados culminando em velocidades mais expressivas nas vertentes.

A jusante, a curso intermediário é caracterizada por grande vazão, ou seja, a velocidade da água e a capacidade de transportar grandes quantidades de sedimentos são as maiores de toda a bacia. Já o baixo curso é caracterizado pela deposição, pois ocorre a diminuição da competência do rio, apresentando um leito fluvial mais largo e acúmulo de sedimentos. No que diz respeito aos processos erosivos da área de estudo, a UPH do Baixo curso apresenta 4145 focos, o Médio curso 2197 e o Alto curso 560. No total, são 172 erosões urbanas (95 voçorocas e 77 ravinas) e 6730 erosões rurais (5292 voçorocas e 1438 ravinas).

A Tabela 6 apresenta situação de cada uma das sub-bacias através da densidade (erosão/km²).

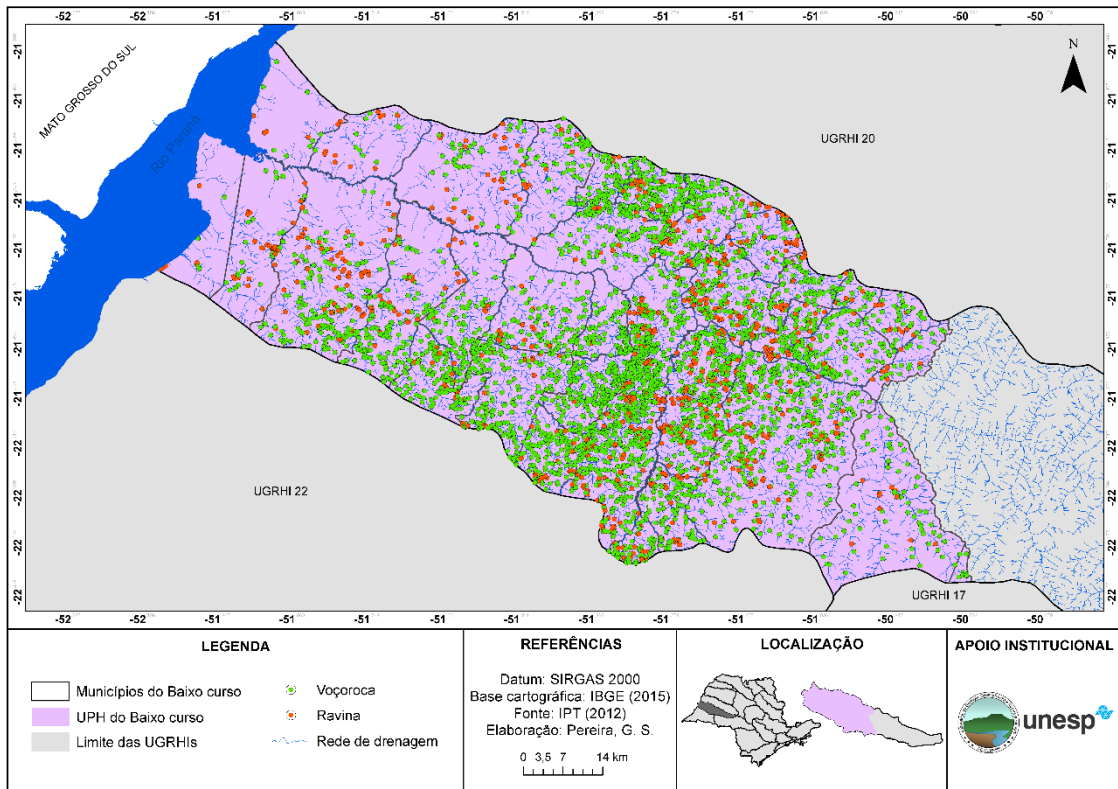
Tabela 6 – Densidade de processos erosivos por UPH.

Sub-bacia	Quantidade de erosões	Área (km²)	Densidade de erosões (erosão/km²)
Baixo curso	4145	6728	0,62
Médio curso	2197	3332	0,66
Alto curso	560	687	0,82

Elaborado pela autora.

É possível notar que a densidade de processos erosivos é maior no alto curso da bacia hidrográfica, onde em uma área de 687 km² há a presença de 560 focos erosivos correspondendo assim a densidade de 0,82 erosão/km² e menor no baixo curso, com 0,62 erosão/km². Para efeito de detalhe, foi elaborado a localização dos processos erosivos por UPH, na Figura 59 está o resultado para o baixo curso.

FIGURA 59 – Localização das erosões na UPH do baixo curso da UGRHI 21.



São 4.145 erosões, sendo 3.345 voçorocas e 800 ravinas distribuídas ao longo de toda a UGRHI com uma concentração na área central. A Figura 60 ilustra algumas das voçorocas encontradas na UPH do baixo curso.

FIGURA 60 – Voçorocas localizadas no baixo curso:

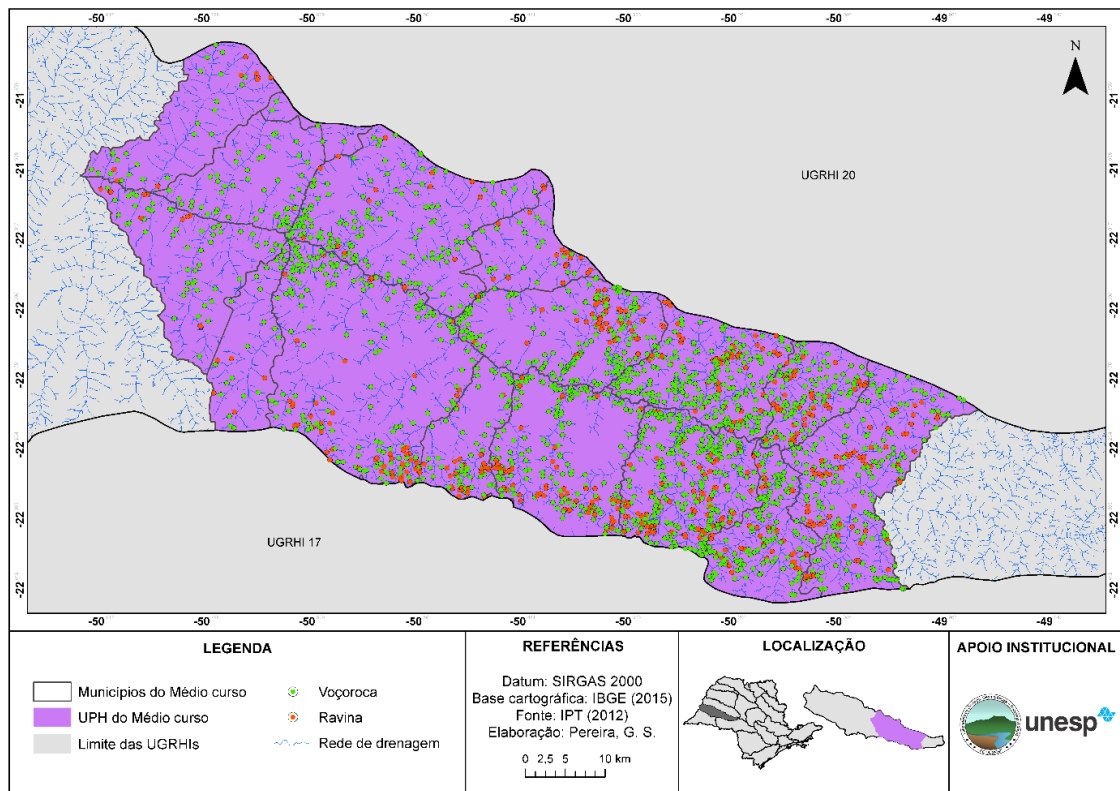
(a) Alfredo Marcondes/SP (b) Avenida Dom Pedro II, Rancharia/SP.



Fonte: (a) Santos, Gomes e Fuzeto (2020); (b) G1.

A seguir é apresentado o resultado obtido da localização das feições erosivas para o médio curso e é possível identificar que grande parte dos pontos erosivos estão próximos dos cursos d'água.

FIGURA 61 – Localização das erosões na UPH do médio curso da UGRHI 21.



São 2.197 erosões, sendo 1.629 voçorocas e 568 ravinas. A Figura 62 ilustra algumas das voçorocas encontradas na UPH do médio curso.

FIGURA 62 – Voçorocas localizadas no médio curso:

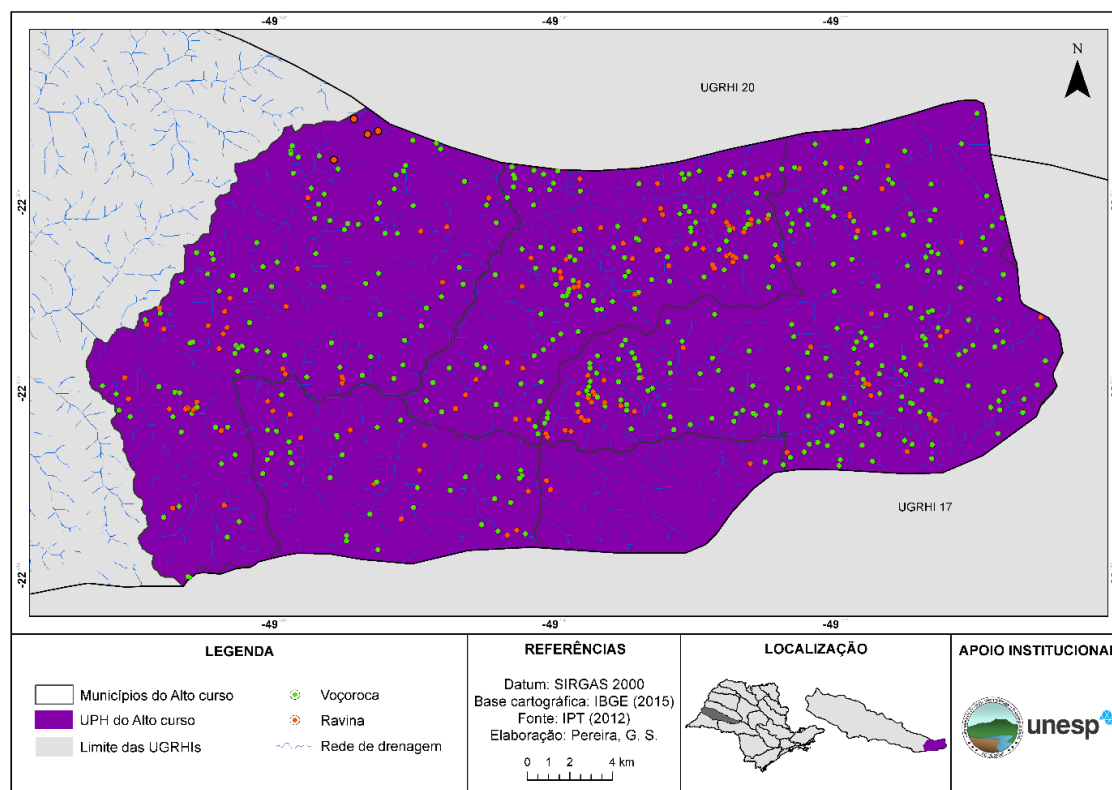
(a) Quintana/SP (b) Tupã/SP.



Fonte: (a) G1 (2019); (b) TupãCity (2013).

Na Figura 63 está o resultado para o alto curso e é possível visualizar que nela, é onde os processos erosivos tem uma distribuição mais homogênea.

FIGURA 63 – Localização das erosões na UPH do alto curso da UGRHI 21.



São 413 voçorocas e 147 ravinas (totalizando 560). Especificamente em relação as dinâmicas que ocorrem no alto curso da bacia hidrográfica vale ressaltar que o comprometimento das cabeceiras de drenagem (decorrente da má utilização do solo e desmatamento e consequente erosão/ assoreamento e contaminação dos recursos hídricos) pode reverberar por toda a bacia. A Figura 60 ilustra algumas das voçorocas encontradas nas UPH do alto curso.

FIGURA 64 – Voçorocas localizadas no alto curso:

(a) Marília/SP (b) Erosão próxima à ferrovia avança em Vera Cruz/SP.



Fonte: (a) Marília Transparente (2015); (b) Giro Marília (2020).

Na Tabela 7, temos os dados referentes ao relevo e a ocorrência de processos erosivos lineares.

Tabela 7 – Densidade de erosão por forma de relevo e índice de dissecação.

Classe	Quantidade de erosões	Área (km²)	Densidade de erosões (erosão/km²)
Planície Fluvial	10	349	0,03
Planalto Centro Ocidental	5.458	8.674	0,63
Planalto Residual de Marília	1.434	1.724	0,83

Elaborado pela autora.

É possível avaliar que a maior densidade de erosões está localizada no Planalto Residual de Marília com 0,83 erosões por quilômetro. Na Tabela 8 são apresentados dados relativos a cada classe de solo e a ocorrência de processos erosivos lineares. Os “Argissolos” e “Área urbana” têm densidades muito próximas (0,79 e 0,76, respectivamente).

Tabela 8 – Densidade de erosão por classe de solo.

Classe	Quantidade de erosões	Área (km²)	Densidade de erosões (erosão/km²)
Argissolos	6.546	8.328	0,79
Gleissolos	4	172	0,02
Latossolos	135	1.778	0,08
Neossolos	112	230	0,49
Planossolos	14	120	0,12
Área urbana	91	119	0,76

Elaborado pela autora.

Vale pontuar que nesse caso específico, o que deixa esses valores parecidos é a relação proporcional de erosão/área, já que a área urbana possui uma extensão muito menor e apenas 91 focos erosivos, enquanto os Argissolos possuem 6.546 numa área de 8.328 Km². Contudo, mesmo que numericamente a ocorrência seja menor isso não significa que o seu efeito seja ameno, Mendes (2014) destaca que:

Os processos erosivos em áreas urbanas promovem situações de risco em relação a integridade física dos cidadãos. O poder destrutivo de uma erosão, ameaça a infraestrutura das habitações e obras públicas, além de ser um local de acúmulo de vetores quando está associada com lixo doméstico e o lançamento de esgoto, assim transformando a erosão em foco de doenças (p. 4 - 5).

A Tabela 9 apresenta a correlação entre as classes de uso da terra e a ocorrência de processos erosivos lineares.

Tabela 9 – Densidade de erosão por classe de uso da terra.

Classe de uso	Quantidade de erosões	Área (km ²)	Densidade de erosões (erosão/km ²)
Área urbana	82	127	0,66
Cobertura arbórea	.1012	1.354	0,75
Pastagem	5.571	8.164	0,84
Cultura de cana-de-açúcar	493	1912	0,26
Solo exposto	235	787	0,48

Elaborado pela autora.

A classe de uso com a maior densidade de erosões é a “Pastagem” correspondendo a 0,84 erosões por quilômetro enquanto na “Cultura de cana-de-açúcar” apresenta 0,26 erosões por quilômetro quadrado. Assim, é possível averiguar que as maiores densidades de processos erosivos ocorrem no Planalto Residual de Marília, em áreas com a presença de Argissolos e ocupadas por pastagens.

O resultado de densidade de erosão para cobertura arbórea chamou a atenção, pois se pressupõe que esse tipo de cobertura oferece proteção aos solos. Buscando entender o resultado obtido, foram analisados os pontos de erosões das áreas de vegetação arbórea, nas imagens do Google Earth dos anos de 2010 a 2012, e foi possível verificar que na realidade elas não estavam localizadas em áreas de mata. Também foram analisados os dados fornecidos pelo MapBiomas⁸. De acordo com os dados de uso da terra do MapBiomas, referentes aos anos de 2010 a 2012, a densidade de erosão para essa classe seria 0,4. Assim, admite-se que a obtenção do valor elevado se deve à escala, ao grau de generalização e à fonte de dados do mapa de uso da Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (2013).

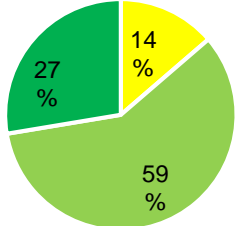
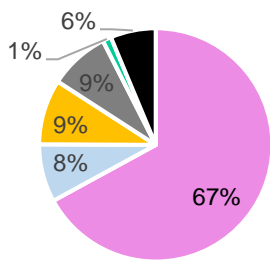
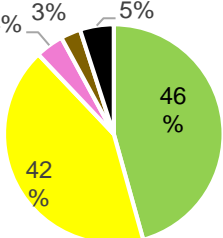
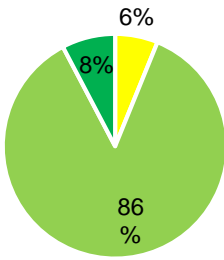
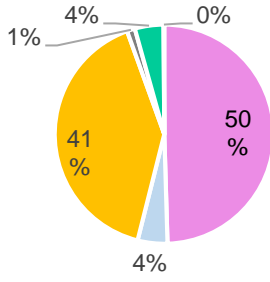
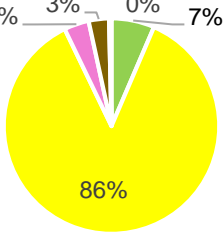
Um outro ponto importante a ser considerado em relação ao resultado da densidade de erosão para cobertura arbórea é que a cobertura possa oferecer proteção aos solos é preciso que elas sejam amplas e densas, o que não ocorre

⁸ <https://mapbiomas.org/o-projeto>.

nesse cenário já que poucos tem condição de efetivamente proteger por serem fragmentos muito pequenos. Dessa forma, entendemos que os fragmentos precisam ser ampliados, levando em consideração o pressuposto de que apenas o plantio das mudas não seja suficiente.

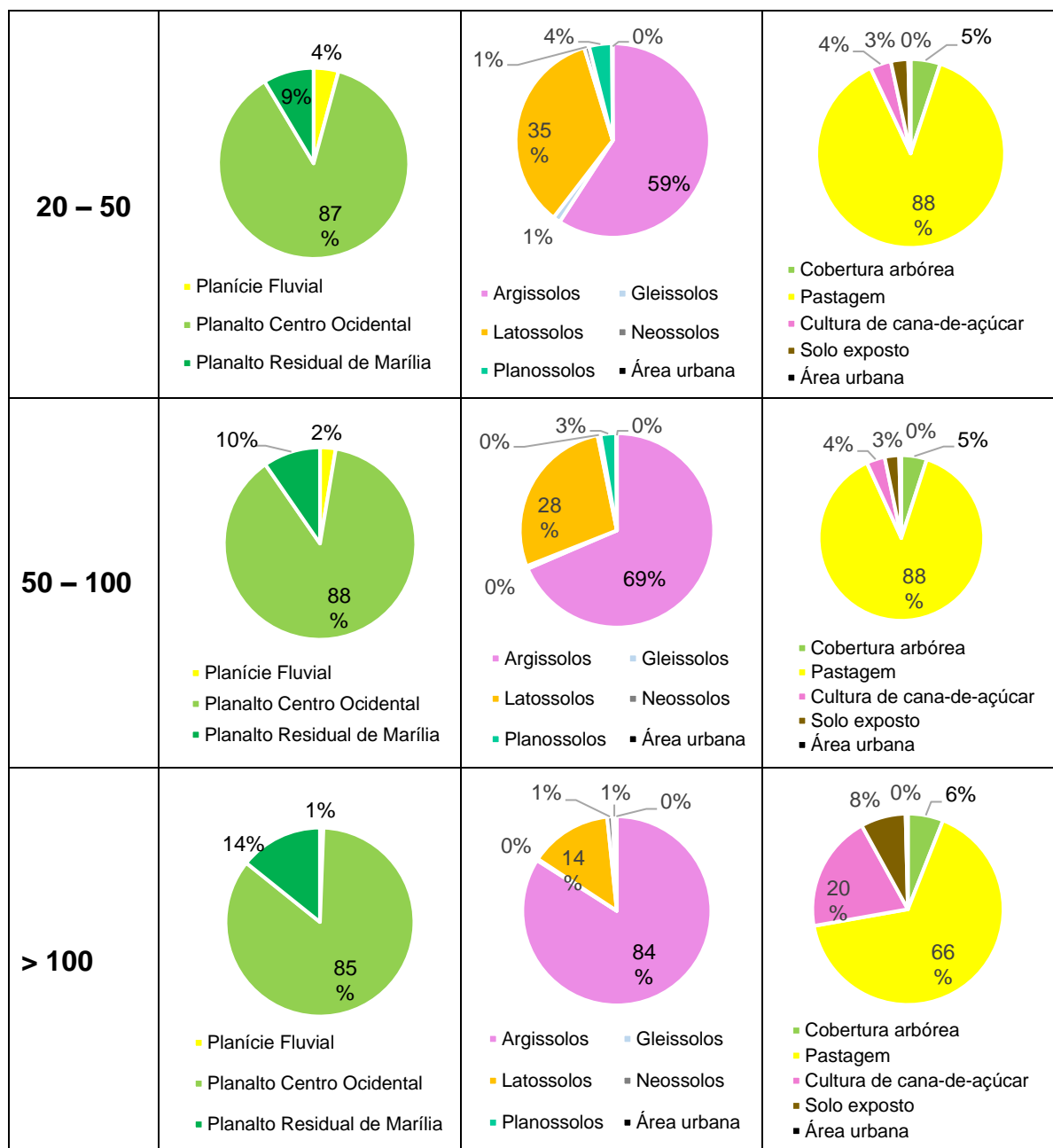
Os diversos problemas ambientais que ocorrem na UGRHI 21 (como poluição das águas superficiais, exaustão e erosão do solo, etc.) exigem ações práticas urgentes para a minimização e/ou solução destes problemas, através do uso racional do espaço geográfico e dos recursos naturais. Pensando no viés do planejamento, foi feita uma análise para avaliar quais variáveis predominam (de relevo, solo e uso da terra) para o Mapa da estimativa de perda de solo, recortando de cada um deles as classes de perda e contabilizando sua área. O resultado está demonstrado no Quadro 17.

Quadro 17 – Variáveis predominantes em cada classe de perda de solo.

Classe (ton.ha/ano)	Relevo	Solo	Uso
< 10	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Planície Fluvial ■ Planalto Centro Ocidental ■ Planalto Residual de Marília 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Argissolos ■ Gleissolos ■ Latossolos ■ Neossolos ■ Planossolos ■ Área urbana 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Cobertura arbórea ■ Pastagem ■ Cultura de cana-de-açúcar ■ Solo exposto ■ Área urbana
10 – 20	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Planície Fluvial ■ Planalto Centro Ocidental ■ Planalto Residual de Marília 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Argissolos ■ Gleissolos ■ Latossolos ■ Neossolos ■ Planossolos ■ Área urbana 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Cobertura arbórea ■ Pastagem ■ Cultura de cana-de-açúcar ■ Solo exposto ■ Área urbana

Continua.

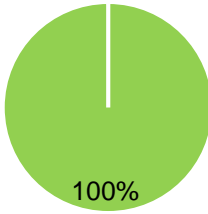
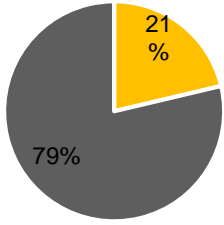
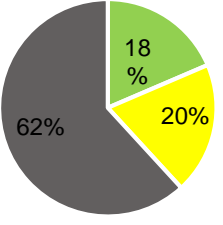
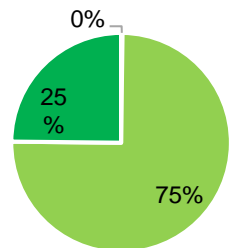
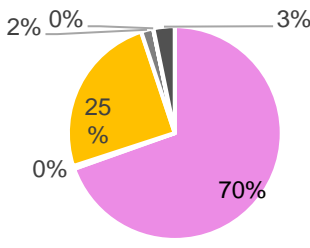
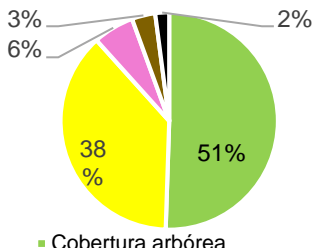
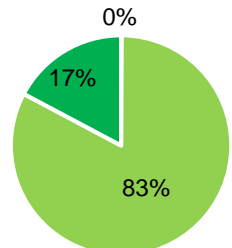
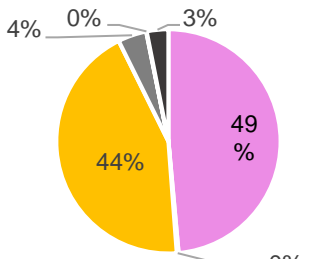
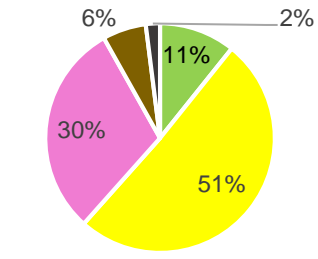
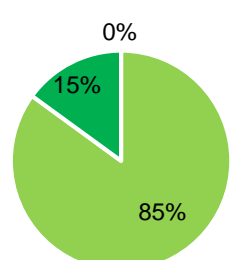
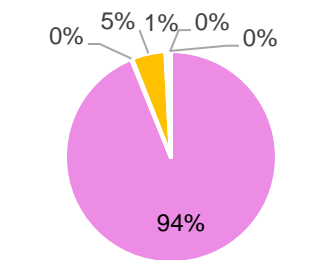
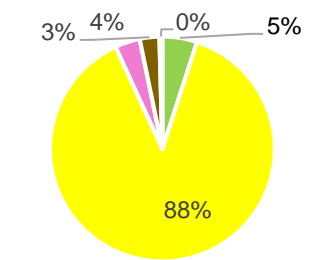
Cont. do Quadro 17.



Elaborado pela autora.

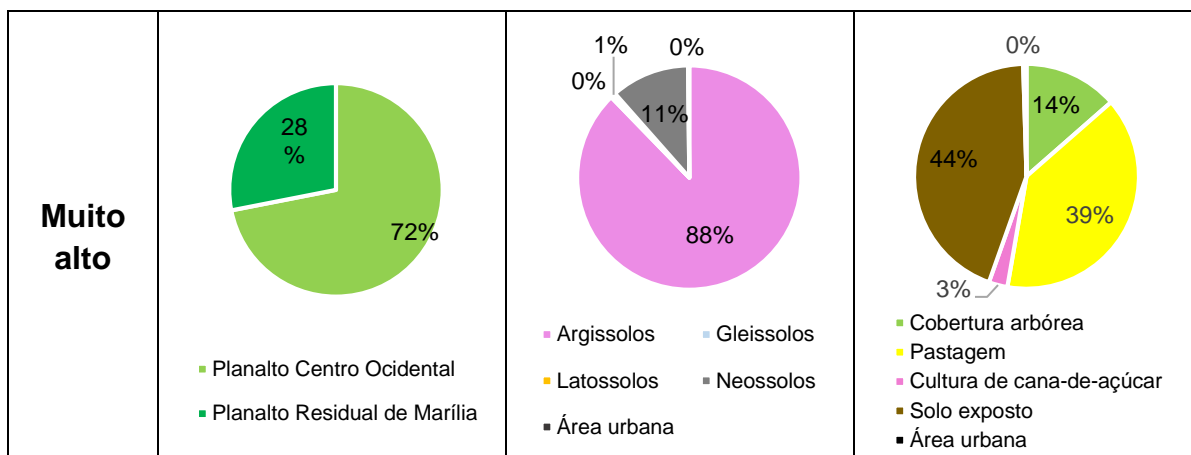
A classe de perda “< 10 ton.ha/ano” predomina em Argissolos (67%) e cobertura arbórea (46%) enquanto a classe “>100 ton.ha/ano” prevalecem os Argissolos (84%) e nos tipos de uso a pastagem (66%) e cultura de cana-de-açúcar com 20%. Em todas as classes de perda, para o relevo, sobressaiu o planalto centro ocidental, sendo 59% para “< 10 ton.ha/ano” e 85% para “>100 ton.ha/ano”. Também foi realizada a análise de relevo, solo e uso da terra para o Mapa Fragilidade Emergente (Ambiental), o resultado está indicado no Quadro 18.

Quadro 18 – Variáveis predominantes em cada classe de Fragilidade Emergente.

Classe	Relevo	Solo	Uso
Muito baixo	 <p>100%</p> <ul style="list-style-type: none"> Planalto Centro Ocidental 	 <p>79% 21%</p> <ul style="list-style-type: none"> Latossolos Área urbana 	 <p>62% 18% 20%</p> <ul style="list-style-type: none"> Cobertura arbórea Pastagem Área urbana
Baixo	 <p>0% 25% 75%</p> <ul style="list-style-type: none"> Planície Fluvial Planalto Centro Ocidental Planalto Residual de Marília 	 <p>2% 0% 3% 25% 70% 0%</p> <ul style="list-style-type: none"> Argissolos Gleissolos Latossolos Neossolos Planossolos Área urbana 	 <p>3% 6% 38% 51% 2%</p> <ul style="list-style-type: none"> Cobertura arbórea Pastagem Cultura de cana-de-açúcar Solo exposto Área urbana
Médio	 <p>0% 17% 83%</p> <ul style="list-style-type: none"> Planície Fluvial Planalto Centro Ocidental Planalto Residual de Marília 	 <p>4% 0% 3% 44% 49% 0%</p> <ul style="list-style-type: none"> Argissolos Gleissolos Latossolos Neossolos Planossolos Área urbana 	 <p>6% 11% 51% 30% 2%</p> <ul style="list-style-type: none"> Cobertura arbórea Pastagem Cultura de cana-de-açúcar Solo exposto Área urbana
Alto	 <p>0% 15% 85%</p> <ul style="list-style-type: none"> Planície Fluvial Planalto Centro Ocidental Planalto Residual de Marília 	 <p>0% 5% 1% 94% 0% 0%</p> <ul style="list-style-type: none"> Argissolos Gleissolos Latossolos Neossolos Planossolos Área urbana 	 <p>3% 4% 0% 5% 88%</p> <ul style="list-style-type: none"> Cobertura arbórea Pastagem Cultura de cana-de-açúcar Solo exposto Área urbana

Continua.

Cont. do Quadro 18.



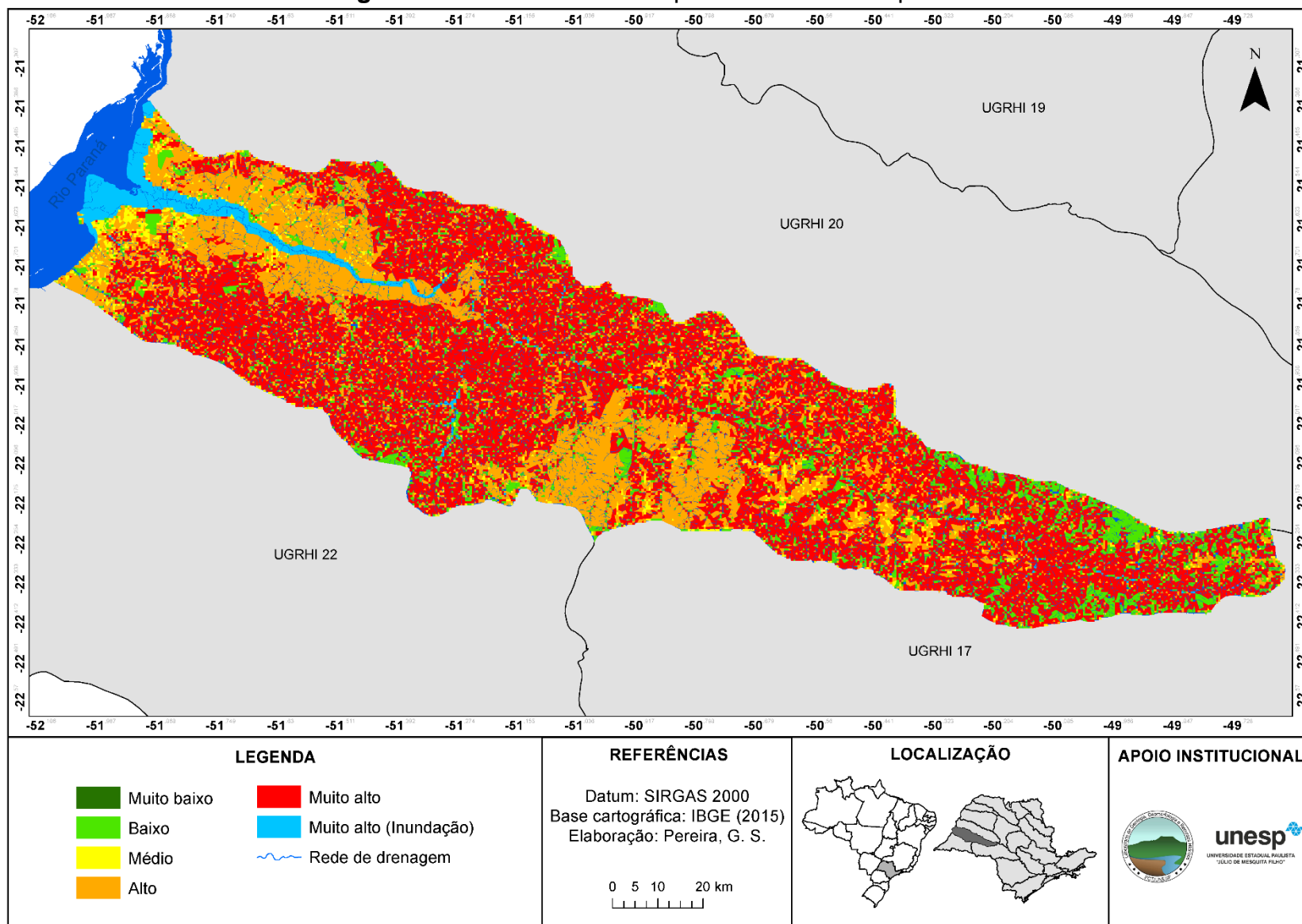
Elaborado pela autora

Na classe de fragilidade ambiental "Muito baixo" predominam as áreas urbanas enquanto na classe "Muito alto" prevalecem os Argissolos (88%) e solo exposto (44%).

5.7 Suscetibilidade a processos erosivos pluviais

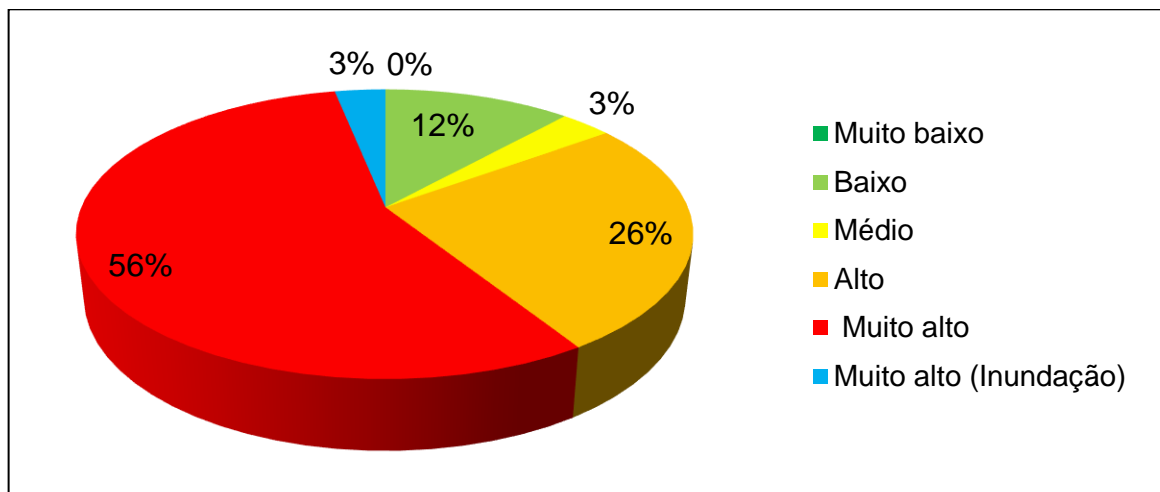
Como síntese da suscetibilidade aos processos erosivos, é apresentado o Mapa da de Suscetibilidade aos Processos Erosivos, unindo os aspectos relacionados aos processos erosivos laminares e lineares (Figura 65).

Figura 65 – Suscetibilidade a processos erosivos pluviais.



56% da área total da UGRHI 21 (conforme indicado na Figura 66) tem uma suscetibilidade muito alta aos processos erosivos laminares e lineares. Vale ressaltar que menos de 1% da área apresenta o nível “Muito baixo” de suscetibilidade à erosão.

Figura 66 – Gráfico de suscetibilidade a processos erosivos pluviais por classe.



Elaborado pela autora.

5.8 Propostas de manejo para mitigação dos processos erosivos

Para Bertoni e Lombardi Neto (1994), o desgaste do solo nas suas diversas fases e formas podem ser amenizados/ evitados com o uso de práticas que aumentem a cobertura vegetal, infiltração da água no solo e reduzem a velocidade do escoamento superficial. Zonta et al (2012) complementam descrevendo que:

As práticas de manejo são as atividades de natureza antrópica que acabam por acelerar ou retardar o processo erosivo. Práticas que promovem a maior exposição dos solos à incidência das precipitações - como queimadas e derrubadas de florestas - e aquelas que promovem o enfraquecimento da estrutura dos solos - como a compactação e mecanização excessiva - favorecem a ação dos fatores erosivos. No entanto, práticas que visam à manutenção da cobertura vegetal - como o plantio direto e o uso de cobertura morta - e aquelas que visam a melhorias das condições de fertilidade e da estrutura do solo - como adubação e calagem - promovem a atenuação da erosão (p. 4).

Partindo desses pressupostos, o Quadro 19 apresenta algumas propostas de manejo de uso da terra que podem ser adotadas para a área de estudo.

QUADRO 19 - Propostas para o manejo no uso e cobertura da terra.

Uso e cobertura da terra	Ações	Benefícios
Pastagem	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lotação adequada de gado com rotatividade de pastos; ○ Utilização de espécies forrageiras adequadas; ○ Isolamento das APP; ○ Implantação de terraços em nível; ○ Correção da fertilidade do solo; ○ Adoção de sombreamento dos pastos; ○ Uso de sistemas silvopastoris. 	Redução do pisoteio do gado e de erosões, redução de espécies invasoras, manutenção e preservação das APP, redução da compactação e da contaminação do solo, com aumento da infiltração e conforto térmico para os animais.
Cultura temporária	<ul style="list-style-type: none"> ○ Adoção do plantio direto; ○ Implantação da agricultura de precisão; ○ Construção de terraços em nível; ○ Rotação de culturas; ○ Diversificação de culturas; ○ Controle e uso adequado de agroquímicos; ○ Adequação das culturas à capacidade de uso das terras; ○ Adoção de técnicas de infiltração de água no solo. 	Redução da compactação do solo, aumento da infiltração de água, economia de insumos agrícolas, redução de erosões, manutenção da fertilidade e extinção da contaminação do solo.
Cultura permanente	<ul style="list-style-type: none"> ○ Intercalação de espécies no espaço; ○ Rotatividade de espécies; ○ Escalonamento da produção no tempo; ○ Incentivos à criação de corredores ecológicos; ○ Usos múltiplos dos plantios; ○ Uso de sistemas agrosilvopastoris. 	Diversificação de uso e aumento de produtividade, promover a conectividade entre fragmentos de áreas naturais e usos múltiplos otimizando espaços improdutivos e impactados.
Vegetação nativa	<ul style="list-style-type: none"> ○ Preservação, conservação e recuperação; ○ Atendimento da legislação relativa às APP e Reservas Legais; ○ Usos múltiplos das áreas de florestas nativas; ○ Implantação de corredores ecológicos; ○ Implantação de sistema de monitoramento. 	Aumento da biodiversidade e da produtividade, com impacto positivo sobre a água, o solo, a fauna silvestre e o microclima regional.

Continua.

Cont. do Quadro 19.

Água	<ul style="list-style-type: none"> ○ Preservação e recuperação das APP; ○ Determinar áreas de infiltração e recarga dos aquíferos; ○ Incentivar a ampliação das áreas de recarga; ○ Implantar projetos de saneamento básico das residências e áreas urbanas; ○ Combater o assoreamento dos corpos d'água; ○ Criar estações de monitoramento físico-químico e hidráulico dos principais recursos hídricos; ○ Não implantar novas PCHs; ○ Incentivar os usos múltiplos das PCHs já existentes; ○ Incentivar projetos de proteção e conservação das águas. 	Melhoramentos nas condições físico-químicas ambientais das águas e aumento de áreas destinadas ao lazer, com a proteção dos recursos hídricos, visando sua perpetuação em qualidade e quantidade.
Urbano	<ul style="list-style-type: none"> ○ Implementação de redes de coleta e tratamento de esgoto; ○ Implementação de redes de coleta e tratamento de água pluvial; ○ Disciplinar o uso do solo urbano com aumento de áreas permeáveis; ○ Implementação de galerias pluviais; ○ Implementação de educação ambiental; ○ Incentivar projetos de manejo de microbacias hidrográficas urbanas. 	Melhorar as condições de habitação, e as condições ambientais em áreas urbanas, protegendo os recursos naturais e a vida e o patrimônio das pessoas.

Fonte: Ferreira (2015, p.180).

Usar a terra de acordo com a sua capacidade é o ponto de partida para o desenvolvimento racional das atividades produtivas, atendendo à geração atual, e mantendo o potencial de produção de alimentos e matérias-primas para as gerações futuras e demais seres vivos (PIROLI, 2002).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na bacia do rio do Peixe é muito comum a ocorrência de processos erosivos, devido a presença de Argissolos (78%), em geral profundos e de boa fertilidade, porém com alta suscetibilidade a erosão. Já em relação ao uso da terra há o predomínio de pastagens (63%) que quando mal manejadas (a exemplo do pisoteio excessivo dos animais) gera diversos problemas do ponto de vista conservacionista.

Com a aplicação da EUPS para análise dos processos erosivos laminares, avaliamos que 67% da área de estudo têm perdas de maiores que 100 ton.ha/ano (grau de erosão “muito alto”). Observou-se que a maior quantidade de perda por hectare está situada na Unidade de Planejamento Hidrográfico (UPH) do “Médio curso” com 2512,67 ton.ha/ano, correspondendo a 37% do total da UGRHI 21. Já em relação aos sedimentos exportados, 69% da área apresenta taxas de “<10 ton.ha/ano”, o que pode indicar que apesar das elevadas taxas de erosão laminar, os usos da terra conseguem reter os sedimentos, evitando que eles atinjam os cursos fluviais.

Através da projeção de cenário, com a recomposição florestal das Áreas de Preservação Permanente (APPs), as áreas que apresentam perdas de solo “> 100 ton.ha/ano (grau de erosão muito alto) tiveram uma redução de 3%, enquanto as áreas com perdas de “< 10 ton.ha/ano” (grau de erosão muito baixo) apresentaram um aumento de 7%. Os valores de perdas de solos diminuíram em todas as UPHs. Entretanto, nas duas situações (atual e projeção) a UPH “Médio curso” é a mais crítica em relação às perdas de solos. Os resultados obtidos para a exportação de sedimentos revelaram um aumento de 3% da classe “<10 ton.ha/ano” e decréscimos de 1% para a classe de “10- 20 ton.ha/ano” e 2% para a classe “> 100 ton.ha/ano”. Para a estimativa de exportação de sedimentos por UPH analisar a diminuição dos valores de exportação de sedimentos em todas as UPHs, sendo que a UPH “Baixo Curso” apresentou redução de 13%, “Médio Curso” apresentou redução de 8,5% e “Alto Curso”, redução de 25%. Embora os ganhos pareçam modestos, cumpre ressaltar que no cenário simulado foi proposto um acréscimo de apenas 7% nas áreas recobertas por vegetação arbórea.

Em relação à Fragilidade Potencial aos processos erosivos lineares, as áreas consideradas como sendo de nível “Baixo” ocupam 14 % da área total da bacia enquanto o nível “Alto” ocupa 54%. Para a Fragilidade Emergente o nível “Baixo” se

restringe à 3% da área enquanto que o nível “Alto” corresponde a 65%. Ou seja, a área apresenta predominantemente nível Alto, tanto em relação à Fragilidade Potencial quanto em relação à Fragilidade Emergente e o aumento verificado entre a primeira e a segunda, evidencia que os usos da terra acentuam a fragilidade da área, nessa classe 44% do total de área é composto por solos expostos e 39% de pastagem. Os estudos sobre a Fragilidade Ambiental permitem identificar e avaliar os sistemas ambientais em seus diversos níveis de organização, servindo como base para os trabalhos de zoneamento ambiental, gestão territorial e no entendimento da dinâmica entre os componentes naturais e antrópicos onde os tipos de usos e as alterações na cobertura vegetal vêm resultando em influências no clima, na velocidade dos processos erosivos, na redução da diversidade biológica, em alterações no balanço hídrico, entre outros impactos negativos. Sendo assim, é de extrema urgência implementar medidas que monitorem e mitiguem esses impactos.

Alcântara e Souza (2010) apontam algumas das limitações da USLE como a incapacidade de prever a localização dos depósitos de sedimentos e a incapacidade de simular a perda de solo em processos erosivos mais avançados, como ravinas e voçorocas. Nesse sentido, quando combinado com a metodologia de Fragilidade Ambiental, embora de caráter qualitativo, institui uma importante ferramenta de análise, representando instrumentos de predição de comportamentos, seja de cenários futuros ou pretéritos, nas mais variadas escalas espaciais (CHRISTOFOLETTI, 1982; FERNANDES, 2016), fornecendo informações sobre potenciais, suscetibilidades, restrições, riscos de ocupação, e possíveis intervenções na paisagem (ROSS, 1990).

Entendemos que a utilização de modelagem espacial aliada e projeção de cenários pode se constituir em importantes ferramentas de planejamento ambiental à medida que permitem identificar áreas prioritárias, otimizando investimentos e intervenções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As Unidades Ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno Teodoro Sampaio - SP. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 26, pp. 59 - 78, 2009.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Unidade de Planejamento Hídrico**. 2017. Disponível em: <<https://dadosabertos.ana.gov.br/map/s/04a2bb5750c8467c8216ea4cdd100efa/about>>. Acesso em: 15/11/2021.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 7ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de Bacias Hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9.ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. **Conservação do Solo**. 4. ed. Campinas: Ícone, 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. Embasamento técnico do programa estadual de microbacias hidrográficas. In: Lombardi Neto, F.; Drugowich, M.I. (coords.). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. v. 1. Campinas: CATI, 1994.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. **Conservação do Solo**. Piracicaba, SP: Editora Livrocere, 1985.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. **Equação de perdas de solo**. Instituto Agrônomo, Campinas, SP. Boletim Técnico, 21. 1975.

BOER, M.; PUIGDEFABREGAS, J. Effects of spatially structured vegetation patterns on hillslope erosion in a semiarid Mediterranean environment: A simulation study. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, p.149–167, 2005.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista - UNESP. 2000.

BRAGHIROLI, T. L. P. **Análise e caracterização de processos erosivos no município de Ituiutaba - MG**: o caso da voçoroca interdigidada ao rio São Lourenço. Trabalho de Conclusão de Curso (licenciatura e bacharelado em Geografia), Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Ituiutaba. 2015.

BROOKS, A.P.; BRIERLEY, G.J. Geomorphic responses of lower Bega River to catchments disturbance, 1851-1926. **Geomorphology**, Amsterdam, v.18, p.291-304, 1997.

BUOL, S. W. et al. **Soil genesis and classification**. 5th ed. Yowa: Blackwell, 2003.

CADERNOS LOGEPA. **Erosão do solo**: fatores condicionantes e modelagem matemática. Ano 2 – No. 01 – 2003. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/logepa/article/view/10981>>. Acesso em: 12/03/2018.

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. C. T.; MOREAU, M. Inter-relações entre clima e vazão. In: SCHIAVETTI, A. e CAMARGO, A. F. M. (Eds.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2002. p. 67-90.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. A. et al. **Banco de dados geográficos**. Curitiba: Mundogeo, 2005, p. 11-52.

CAMARGO, A. A. B. **Avaliação e quantificação da contribuição de uma voçoroca para o assoreamento do Ribeirão das Cruzes, tributário da represa de Três Irmãos, SP**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012.

CARREÑO, L.; VIGLIZZO, E. **Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales em Argentina**. Buenos Aires: INTA, 2007.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CBH-AP - COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE. **Relatório de situação – zero**. 1997. Disponível em:<<http://cbhap.org/publicacoes/relatorio-zero.html>>. Acesso em 25/04/2021.

CENTRO DE ENSINO GUROO. **Elementos da Bacia Hidrográfica**. 2018. Disponível em: < <https://www.guroo.com.br/?p=2922>>. Acesso em: 05/06/2021.

CETEC – Centro de Tecnologia da Fundação Paulista de Tecnologia. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe**. 2008

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: **Geomorfologia**: Uma atualização de bases e conceitos. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Capítulo 1 – Sistemas e Modelos. 1ª ed. Editora Edgard Blücher LTDA, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. As Perspectivas dos Estudos Geográficos. In: **Perspectivas da Geografia**. CHRISTOFOLETTI, A. (Ed.). São Paulo: DIFEL, 11-36, 1982.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, **S.B. da. Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p.93-148.

COHEN, M.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. **Geoderma**, v.124, 2005. p.235-252.

COOPER, M. **Erosão em áreas de cerrado**. In: Encontro sobre pesquisa em Cerrado no Estado de São Paulo, 1. Itirapina, 2009.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas, diretrizes para planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas**. 2. ed. São Paulo: DAEE/IPT. 1990.

DAEE/UNESP - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, escala 1:250.000. 1982.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ, 1991.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 2. Ed. Tradução de João Alves dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil S/A, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. Embrapa Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FAO - Food And Agriculture Organization of The United Nations. **Status of the World's Soil Resources**. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>>. Acesso em: 15/04/2020.

FARRES, P.J. **The role of time and aggregate size in the crusting process**. **Earth Surface Processes**, Volume 3, 243-254. 1978.

FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 209-247, 2016. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/336649122_Modelagem_em_Geografia_Fisica_Teoria_Potencialidades_e_Desafios>. Acesso em: 28/01/2021.

FERREIRA, C. C. **Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do Rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul-Brasil.** Universidade Estadual Paulista. Tese (Doutorado). 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/133939>>. Acesso em: 09/11/2021.

FRANCO, M. R. da S. **Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica.** Dissertação (Mestrado) – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. 2015.

FULLEN, M.A. & CATT, J.A. **Soil Management – Problems and Solutions.** Arnold Publisher, Londres, Inglaterra. 2004.

G1 (Portal de notícias). **Crescimento de voçorocas faz governo de MS homologar situação de emergência em Novo Horizonte do Sul.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2018/08/30/crescimento-de-voçorocas-faz-governo-de-ms-homologarsituacao-de-emergencia-em-novo-horizonte-do-sul.ghtml>>. Acesso em: 24/08/2021.

GOMES, F. S. **Estudo da Erodibilidade e Parâmetros Geotécnicos de um solo em Processo Erosivo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Engenharia Civil, Recife-PE. 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5852>>. Acesso em: 23/12/2021.

GOUDIE, A. **The encyclopaedicdictionary of physical geography.** Oxford, Inglaterra: Basil Blackwell, 1985.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A questão ambiental: diferentes abordagens.** 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia – Exercícios, Técnicas e Aplicações.** 2º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2005, p. 139-155.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, S. A. da; BOTELHO, M. G. R. (org). **Erosão e conservação dos solos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-55.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In.: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8. Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 1998.

IIRR - International Institute of Rural Reconstruction. **Sustainable Agriculture Extension Manual**. 2008. Disponível em: <<http://www.iirr.org/saem/contents.htm>>. Acesso em: 14/08/2018.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Relatório Técnico nº 131.057-205 – B1-1/189 ANEXO B1. "**Dossiê das unidades de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo – UGRHIS**". São Paulo, IPT, 2012.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. IPT, 2 v. (Monografias, 6; Publicação) São Paulo, 1981.

ISTOCK. Disponível em: <<https://www.istockphoto.com/br/foto/a-eros%C3%A3o-do-solo-gm95809021-4226229>>. Acesso em: 24/08/2021.

JENKINS, A. et al. Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research. Chichester: John Wiley, 1994. p.31-54. MORLEY, Michal F. The Value Added Statement in Britain. In: **The Accounting Review**. Vol. 54, No. 3, 1979, p. 618-629.

LATERRA, P. et al. **ECOSER**: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. 2015. Disponível em: <<http://eco-ser.com.ar/>>. Acesso em: 10/09/2021.

LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. **Entre-Lugar**, Dourados, ano 3, n.6, 2012.

LIBAULT, A. **Geocartografia**. São Paulo, Nacional/EDUSP, 1975.

LIMA, H. M. **Introdução à Modelação Ambiental: Erosão Hídrica**. Funchal (Portugal), 2010.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**, Campinas, Instituto Agrônomo, 1975.

MATIAS, Á. "Erosão"; **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/erosao.htm>>. Acesso em: 23/08/2021.

MARCHAMALO, M. et al. Quantifying Services and Identifying Watershed Priority Areas for Soil and Water Conservation Programs. In: RAPIDEL, B.; DeCLERCK, F.; LE COQ, J.; BEER, J. **Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry - Measurement and Payment**. Earthscan, London, 2011, cap. 2, p. 37-64.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington: Island Press, 2005.

MENDES, P. P. M. **Processo erosivo em área urbana**: Condomínio Privê, cidade satélite Ceilândia – DF. Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. 2014. Disponível em: <http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404586983_ARQUIVO_Pedro_Paulo_Mesquita_Mendes_CBG.pdf>. Acesso em: 21/12/2021.

MERRITT, W. S., LETCHER, R. A., AND JAKEMAN, A. J. **A review of erosion and sediment transport models**. 2003 . doi: 10.1016/S1364-8152(03)00078-1.

MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de atlas. USP, São Paulo, 1973.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; GOUVEIA, J. M. C.; Pimenta, J. P. de O. Fragilidade ambiental aos processos erosivos lineares no Pontal do Paranapanema. In: **XVI Encontro de Geógrafos da América Latina**, 2017, La Paz. Memórias de las ponencias del EGAL 2017. La Paz: XVI EGAL, 2017.

NISHYAMA, L. Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. **Seminários Gerais em Geotecnia** 1833. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1995.

PEREIRA, J.S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. 2014.

PIRES, J. S. R. **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural**: Abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antônio - SP. 1995. Tese (Doutorado) - PPG-ERN. UFSCar. São Carlos.

PIROLI, E.L. **Água**: por uma nova relação. Jundiaí: Paco Editorial, 2016.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na Determinação da Capacidade e Avaliação do uso da Terra no Município de Botucatu-SP**. Tese. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Botucatu – SP 2002.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: John Wiley, 1979.

PRUSKI, F. F. **Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo**. In: PRUSKI, F. F Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa – MG: Editora UFV, 2006.

PUIGDEFÁBREGAS, J. The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.30, p. 133-147, 2005.

PUIGDEFABREGAS, J. et al. Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. **Earth-Science Reviews**, V 48, p. 39–70, 1999.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. da 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://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.16.01/doc/30393046.pdf>>. Acesso em: 28/06/2020.

RODRIGUES, C. ADAMI, S. F. Técnicas de Hidrografia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Editora Sarandi, 2011. p. 55-82.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas**. São Carlos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. 1982.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento: O relevo no quadro ambiental. Cartografia geomorfológica. Diagnósticos ambientais. 9ª edição**. São Paulo: Contexto, 2012.

ROSS, J. L. S. Os Fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, J. L. S. (org.) **Geografia do Brasil**. Edusp, São Paulo, 13-66, 1996.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, nº.8. FFLCH-USP: São Paulo. ROSS, J. E.; Total quality management. Florida: 2 Ed., St. Lucie Press, 1995.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, nº8. FFLCH-USP: São Paulo. 1994.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, nº. 6, FFLCH-USP, 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. Editora Contexto, São Paulo. 1990.

ROSS, J. L.S. Relevo Brasileiro, uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, nº 4, FFLCH-USP, São Paulo. 1985.

ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo escala 1:500.000**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia FFLCH – USP/IPT/FAPESP: vols. I e II, São Paulo,1997.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. Escala 1:250.000 – São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. ABGE/IPT/ DIGEO, 1995, p. 31-57.

SÃO PAULO, CPLA/SMA, **Mapeamento de cobertura da terra do estado de São Paulo**, 2010, Escala 1:100.000 – Coordenadoria de Planejamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www2.ambiente.sp.gov.br/cpla/cessao-de-dados/>> Acesso em: 27/08/2019.

SÃO PAULO - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos de SP**. 2018.

SILVA, R. M. **Introdução ao Geoprocessamento**: Conceitos, Técnicas e Aplicações. 2010.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

TALLIS, H.T. et al. InVEST® - User's Guide. **The Natural Capital Project**, StanfordCA, 2011. Disponível em: < <http://naturalcapitalproject.org/download.html> >. Acesso em: 28/03/2019.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: F I B G E, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

TRIVELANDO, F.T.; FILHO, A. P. Bacia do rio do Peixe - Planalto ocidental Paulista: 90 anos de transformações do uso e ocupações das Terras. *Revista Geonorte*, Edição Especial, V.3, N.6, p. 656-666, 2012. Disponível em: <<https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1978>>. Acesso em: 21/11/2021.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Inundações Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Editora da UFRGS, ABRH, 1993.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, [S. l.], n. 70, p. 24-35, 2006. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35. Disponível em:< <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13529>>. Acesso em: 26 /01/ 2021.

USGS. **O Ciclo d'água**. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/o-ciclo-dagua-water-cycle-portuguese>>. Acesso em: 21/12/2021.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 673-684, 2015.

VIGLIZZO, E. F. et al. Environmental assessment agriculture at a regional scale in the pampas of Argentina. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 87, p. 169-195, 2003.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:763-774, 2004.

WADT, P. G. S. et al. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003.

WISHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, n. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington. 1978.

ZANELLA, B. P. **Modelagem do aporte de sedimentos aplicada à bacia hidrográfica contribuinte da PCH Costa Rica (MS) e proposta de mitigação do assoreamento**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.

ZOCCAL, J. C. **Soluções caderno de estudos em conservação do solo e água**. Presidente Prudente: CODASP, V1, N°1, 2007.

ZONTA, J. H. et al. **Práticas de conservação de solo e água**. 2012. Disponível em: <https://www.cnpa.embrapa.br/noticias/2013/CIRTEC133-conservacao_solo.pdf>. Acesso em: 16/12/21.

APÊNDICE

Estações pluviométricas e respectivos "Fator R" obtidos a partir do NetErosividade São Paulo.

Id	Localidade	Latitude	Longitude	Latitude2	Longitude2	Fator_r
1	Adolfo	21°14'06"	49°38'37"	-21,235	-49,6436111	7098
2	Agissê	22°31'54"	50°54'37"	-22,5316667	-50,9102778	6999
3	Águas de Santa Barbara	22°52'50"	49°14'20"	-22,8805556	-49,2388889	7313
4	Agudos	22°28'09"	48°59'15"	-22,4691667	-48,9875	7364
5	Agulha	21°22'11"	48°44'34"	-21,3697222	-48,7427778	7751
6	Alfredo Marcondes	21°57'19"	51°24'46"	-21,9552778	-51,4127778	6706
7	Alto Alegre	21°34'50"	50°09'49"	-21,5805556	-50,1636111	6766
8	Álvares Machado	22°04'46"	51°28'19"	-22,0794444	-51,4719444	6525
9	Alvinlândia	22°26'39"	49°45'47"	-22,4441667	-49,7630556	7443
10	Amadeu Amaral	22°20'50"	50°02'49"	-22,3472222	-50,0469444	7088
11	Amandaba	21°06'05"	51°09'31"	-21,1013889	-51,1586111	6648
12	Ameliópolis	21°48'10"	51°18'32"	-21,8027778	-51,3088889	6255
13	Anápolis	21°43'28"	50°32'06"	-21,7244444	-50,535	6734
14	Andradina	20°53'46"	51°22'46"	-20,8961111	-51,3794444	7651
15	Anhumas	22°17'43"	51°23'14"	-22,2952778	-51,3872222	6589
16	Aparecida de São Manuel	22°43'45"	48°36'39"	-22,7291667	-48,6108333	7791
17	Aparecida do Monte Alto	21°14'12"	48°38'37"	-21,2366667	-48,6436111	7802
18	Arabela	21°24'22"	51°43'48"	-21,4061111	-51,73	6108
19	Araçatuba	21°12'32"	50°25'58"	-21,2088889	-50,4327778	6604
20	Araraquara	21°47'40"	48°10'32"	-21,7944444	-48,1755556	8242
21	Arco-íris	21°46'21"	50°27'54"	-21,7725	-50,465	6811
22	Arealva	22°01'43"	48°54'40"	-22,0286111	-48,9111111	6481
23	Assis	21°48'23"	51°41'28"	-21,8063889	-51,6911111	7078
24	Atlântida	21°34'23"	51°12'58"	-21,5730556	-51,2161111	6066
25	Avanhandava	21°27'39"	49°56'59"	-21,4608333	-49,9497222	7264
26	Bacuriti	21°35'08"	49°26'28"	-21,5855556	-49,4411111	7118
27	Barbosa	21°16'00"	49°56'57"	-21,2666667	-49,9491667	7084

Continua.

Cont. do Apêndice.

28	Bocaina	22°08'10"	48°31'05"	-22,1361111	-48,5180556	7262
29	Boracéia	22°11'35"	48°46'44"	-22,1930556	-48,7788889	6586
30	Borborema	21°37'11"	49°04'25"	-21,6197222	-49,0736111	6962
31	Botelho	21°21'45"	48°45'50"	-21,3625	-48,7638889	7736
32	Braúna	21°29'57"	50°18'56"	-21,4991667	-50,3155556	6858
33	Brejo Alegre	21°09'59"	50°11'07"	-21,1663889	-50,1852778	6450
34	Buritama	21°03'58"	50°08'50"	-21,0661111	-50,1472222	6429
35	Cajobi	20°52'47"	48°48'34"	-20,8797222	-48,8094444	9112
36	Cambaratiba	21°44'29"	49°01'27"	-21,7413889	-49,0241667	6977
37	Campinal	21°34'19"	51°58'42"	-21,5719444	-51,9783333	6259
38	Castilho	20°52'20"	51°29'15"	-20,8722222	-51,4875	7603
39	Catiguá	21°02'58"	49°03'30"	-21,0494444	-49,0583333	7067
40	Cedral	20°54'10"	49°16'06"	-20,9027778	-49,2683333	8783
41	Coroados	21°21'07"	50°16'53"	-21,3519444	-50,2813889	6727
42	Curupá	21°43'20"	48°34'51"	-21,7222222	-48,5808333	7898
43	Dalas	20°31'26"	50°44'40"	-20,5238889	-50,7444444	7772
44	Dirce Reis	20°27'58"	50°36'22"	-20,4661111	-50,6061111	7632
45	Dobrada	21°31'00"	48°23'38"	-21,5166667	-48,3938889	8000
46	Elisiário	21°09'56"	49°06'42"	-21,1655556	-49,1116667	6960
47	Engenheiro Balduino	20°40'58"	49°41'16"	-20,6827778	-49,6877778	8658
48	Engenheiro Schmitt	20°52'03"	49°18'35"	-20,8675	-49,3097222	8741
49	Esmeralda	20°18'09"	51°02'54"	-20,3025	-51,0483333	6692
50	Estrela D'Oeste	20°17'16"	50°24'03"	-20,2877778	-50,4008333	7441
51	Fátima	21°47'39"	49°49'09"	-21,7941667	-49,8191667	7484
52	Fernando Prestes	21°15'52"	48°41'07"	-21,2644444	-48,6852778	7810
53	Floreal	20°40'36"	50°08'43"	-20,6766667	-50,1452778	7924
54	Gastão Vidigal	20°47'55"	50°11'13"	-20,7986111	-50,1869444	8027
55	Gavião Peixoto	21°50'20"	48°29'41"	-21,8388889	-48,4947222	7814
56	General Salgado	20°38'54"	50°21'38"	-20,6483333	-50,3605556	8139
57	Glicério	21°22'34"	50°12'21"	-21,3761111	-50,2058333	8816
58	Guapiaçu	20°47'42"	49°13'13"	-20,795	-49,2202778	7114

Continua.

Cont. do Apêndice.

59	Guarapiranga	21°31'05"	49°38'31"	-21,5180556	-49,6419444	6597
60	Guaraçai	21°01'42"	51°12'24"	-21,0283333	-51,2066667	6677
61	Guararapes	21°15'39"	50°38'34"	-21,2608333	-50,6427778	6677
62	Guariba	21°21'36"	48°13'42"	-21,36	-48,2283333	7831
63	Guaricanga	22°03'09"	49°19'57"	-22,0525	-49,3325	6798
64	Guariroba	21°28'28"	48°37'31"	-21,4744444	-48,6252778	7812
65	Guzolândia	20°38'59"	50°39'43"	-20,6497222	-50,6619444	7948
66	Ibirá	21°04'49"	49°14'27"	-21,0802778	-49,2408333	7021
67	Ida Iolanda	20°42'08"	49°57'02"	-20,7022222	-49,9505556	8724
68	Ilha Solteira	20°25'58"	51°20'33"	-20,4327778	-51,3425	6956
69	Irapuã	21°16'46"	49°24'32"	-21,2794444	-49,4088889	7047
70	Irapuru	21°34'15"	51°20'42"	-21,5708333	-51,345	6738
71	Itajobi	21°19'05"	49°03'16"	-21,3180556	-49,0544444	6928
72	Itaju	21°58'52"	48°48'17"	-21,9811111	-48,8047222	8005
73	Itápolis	21°35'44"	48°48'46"	-21,5955556	-48,8127778	7679
74	Jaci	20°52'56"	49°34'12"	-20,8822222	-49,57	8854
75	Jaciporã	21°35'50"	51°35'34"	-21,5972222	-51,5927778	6512
76	Jales	20°16'08"	50°32'45"	-20,2688889	-50,5458333	7396
77	Jatobá	21°37'31"	50°14'39"	-21,6252778	-50,2441667	6735
78	José Bonifácio	21°03'10"	49°41'18"	-21,0527778	-49,6883333	7166
79	Junqueira	20°49'15"	49°51'00"	-20,8208333	-49,85	8847
80	Juritis	21°12'09"	50°10'23"	-21,2025	-50,1730556	6498
81	Jurupema	21°22'02"	48°34'10"	-21,3672222	-48,5694444	7909
82	Lauro Penteadado	21°30'50"	50°27'19"	-21,5138889	-50,4552778	6748
83	Lins	21°40'43"	49°44'33"	-21,6786111	-49,7425	7351
84	Lourdes	20°58'01"	50°13'27"	-20,9669444	-50,2241667	8202
85	Macaubal	20°48'21"	49°57'50"	-20,8058333	-49,9638889	8836
86	Marapoama	21°15'33"	49°07'44"	-21,2591667	-49,1288889	6948
87	Martinópolis	20°26'26"	50°49'23"	-20,4405556	-50,8230556	7754
88	Matão	21°36'12"	48°21'57"	-21,6033333	-48,3658333	8031
89	Mendonça	21°10'00"	49°34'51"	-21,1666667	-49,5808333	7122
90	Miraluz	20°56'28"	49°41'22"	-20,9411111	-49,6894444	8961

Continua.

Cont. do Apêndice.

91	Mirassol	20°49'09"	49°31'16"	-20,8191667	-49,5211111	8743
92	Monções	20°51'01"	50°05'30"	-20,8502778	-50,0916667	8039
93	Monte Azul Paulista	20°54'26"	48°38'29"	-20,9072222	-48,6413889	9344
94	Monte Verde Paulista	20°50'37"	48°47'23"	-20,8436111	-48,7897222	9152
95	Presidente Epitácio	21°45'48"	52°06'56"	-21,7633333	-52,1155556	6050
96	Presidente Prudente	22°07'32"	51°23'20"	-22,1255556	-51,3888889	6666
97	Presidente Venceslau	21°52'34"	51°50'38"	-21,8761111	-51,8438889	6677
98	Quatá	22°14'51"	50°41'54"	-22,2475	-50,6983333	7112
99	Regente Feijó	22°13'17"	51°18'10"	-22,2213889	-51,3027778	6718
100	Ribeirão dos Índios	21°58'33"	51°39'05"	-21,9758333	-51,6513889	6907
101	Ribeiro do Vale	21°04'14"	50°42'36"	-21,0705556	-50,71	6798
102	Rinópolis	21°43'33"	50°43'20"	-21,7258333	-50,7222222	6806
103	Rosália	21°59'48"	49°58'35"	-21,9966667	-49,9763889	7742
104	Rosana	22°34'47"	53°03'33"	-22,5797222	-53,0591667	5755
105	Rubiácea	21°18'02"	50°43'36"	-21,3005556	-50,7266667	6695
106	Santa Mercedes	21°21'03"	51°45'19"	-21,3508333	-51,7552778	6108
107	Santo Anastácio	21°50'18"	51°36'37"	-21,8383333	-51,6102778	6596
108	São João do pau D'Alho	21°16'05"	51°39'57"	-21,2680556	-51,6658333	6038
109	Sud Mennucci	20°41'27"	50°55'26"	-20,6908333	-50,9238889	8050
110	Teodoro Sampaio	22°31'57"	52°10'03"	-22,5325	-52,1675	6189
111	Tabajara	21°17'06"	51°07'28"	-21,285	-51,1244444	6078
112	Teçaindá	22°00'06"	51°08'10"	-22,0016667	-51,1361111	6369
113	Terra Nova D'Oeste	21°18'13"	51°41'10"	-21,3036111	-51,6861111	6420
114	Tupã	21°56'05"	50°30'49"	-21,9347222	-50,5136111	7147
115	Tupi Paulista	21°22'52"	51°34'14"	-21,3811111	-51,5705556	6589
116	Valparaíso	21°13'40"	50°52'06"	-21,2277778	-50,8683333	6755

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.