



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

ARIANE APARECIDA SANTOS DA SILVA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E ESTIMATIVA DE PERDAS DE
SOLO NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS TIETÊ/BATALHA (UGRHI – 16) / SP**

PRESIDENTE PRUDENTE

2024

ARIANE APARECIDA SANTOS DA SILVA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E ESTIMATIVA DE PERDAS DE
SOLO NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS TIETÊ/BATALHA (UGRHI – 16) / SP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP/Campus de Presidente Prudente, como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina Moroz
Caccia Gouveia.

PRESIDENTE PRUDENTE

2024

S586f

Silva, Ariane Aparecida Santos da

Fragilidade ambiental e Estimativa de perdas de solo na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Batalha (UGRHI – 16) / SP / Ariane Aparecida Santos da Silva. -- Presidente Prudente, 2024

92 f. : tabs., mapas

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

Orientadora: Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia

1. Fragilidade Ambiental. 2. Equação Universal de Perda de Solo. 3. Bacia Hidrográfica. 4. UGRHI- 16. 5. Tietê Batalha. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Fragilidade ambiental e estimativa de perdas de solo na unidade de gerenciamento de recursos hídricos Tietê/Batalha (UGRHI – 16) / SP"

AUTORA: ARIANE APARECIDA SANTOS DA SILVA

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 / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Prof. Dr. DIOGO LAÉRCIO GONÇALVES (Participação Virtual)
Departamento de Geografia e Planejamento / Faculdade de Ciência, Tecnologia e Educação de Ourinhos - FCTE/Unesp

Presidente Prudente, 27 de março de 2024



Documento assinado digitalmente
ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA
Data: 27/03/2024 19:09:33-0300
verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dedico a realização do meu sonho de ingressar em uma universidade pública e a conclusão do curso de Mestrado Acadêmico em Geografia aos meus pais, que não mediram esforços em me apoiar e me incentivar, sem vocês eu não teria conseguido.

Mãe-Lúcia e Pai-Dimas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me protegerem e me darem forças nos momentos mais difíceis durante esses anos do curso de Mestrado Acadêmico em Geografia.

Aos meus pais, pelo amor, paciência e incentivo.

A minha orientadora, Dra. Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia, pelo incentivo, paciência e aprendizagem.

Aos meus alunos do 2º D da Escola Municipal Adelaide César de Moura Bastos, Martinópolis, SP, que me motivaram a concluir a pós-graduação.

Aos meus amigos, obrigada pela paciência e incentivo, principalmente minha amiga Eline Dornelas, que sempre esteve ao meu lado, saiba que sua amizade foi um presente da pós-graduação.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À banca examinadora.

E a todos que fizeram parte desses anos de pós-graduação e que contribuíram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho.

Gratidão!

RESUMO

SILVA, A. A. S. **Fragilidade ambiental e estimativa de perdas de solo na unidade de gerenciamento de recursos hídricos tietê/batalha (UGRHI – 16) / SP.** 2024. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2024.

Dentre inúmeros problemas ambientais decorrentes da ação antrópica, destacam-se os processos erosivos acelerados que ocorrem quando não existe equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos, que nada mais é do que o equilíbrio entre a quantidade de solo que é produzido e a quantidade de solo que se “perde” quando o relevo é modelado. A erosão acelerada, portanto, resulta da quebra desse equilíbrio a partir da interferência do homem. A pesquisa teve como objetivo descobrir a fragilidade ambiental e a perda de solo na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Tietê/Batalha (UGRHI 16) determinando os níveis de fragilidade ambiental, e identificando espacialmente níveis de susceptibilidade à erosão pluvial para subsidiar o Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê/Batalha em ações de planejamento ambiental e programas de recuperação ambiental através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). A metodologia da pesquisa teve como cunho bibliográfico e para realização dos mapeamentos contou-se com dados disponibilizados gratuitamente em diversas fontes e órgãos federais e estaduais, com diferentes escalas e níveis de detalhe, mas que, para um melhor resultado, adotou-se os dados estaduais, como base para a presente pesquisa. Portanto, a utilização do modelo de Fragilidade Ambiental de Ross (1994) e da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) foram importantes para identificação de áreas com mais fragilidade e mais propensas a processos erosivos.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental, Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Tietê/Batalha (UGRHI 16), processos erosivos.

ABSTRACT

SILVA, A. A. S. Environmental fragility and estimation of soil losses in the Tietê/Batalha water resources management unit (UGRHI – 16) / SP. 2024. 93 f. Dissertation (Master's degree in Geography) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2024.

Among the numerous environmental problems resulting from human activity, accelerated erosive processes are particularly noteworthy when there is no balance between pedogenetic and morphogenetic processes, which essentially means the balance between the amount of soil produced and the amount of soil "lost" as the landscape is shaped. Accelerated erosion, therefore, results from the disruption of this balance due to human interference. The research aimed to identify environmental fragility and soil loss in the Tietê/Batalha Water Resources Management Unit (UGHRI 16) by determining levels of environmental fragility and spatially identifying susceptibility to rain erosion. This would support the Tietê/Batalha River Basin Committee in environmental planning and restoration programs through the Universal Soil Loss Equation (USLE). The research methodology had a bibliographic basis, and for mapping purposes, data freely available from various federal and state sources were used. Although these data came in different scales and levels of detail, state-level data were adopted as the primary source for better results. Therefore, the use of Ross's Environmental Fragility Model (1994) and the Universal Soil Loss Equation (USLE) was crucial for identifying areas with higher fragility and greater susceptibility to erosive processes.

Keywords: Environmental Fragility, Universal Soil Loss Equation (EUPS), Tietê/Batalha Water Resources Management Unit (UGHRI 16), Erosive processes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	17
Figura 2 - Processos erosivos lineares na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	21
Figura 3 - Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	26
Figura 4 - Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16....	28
Figura 5 - Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	30
Figura 6 - Mapa clinográfico e da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	32
Figura 7 - Mapa dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	35
Figura 8 - Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	38
Figura 9 - O ciclo hidrológico.....	41
Figura 10 - Características dos sistemas fluviais	42
Figura 11 - Mapa de fragilidade do relevo da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	66
Figura 12 - Mapa de Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	68
Figura 13 - Mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	70
Figura 14 - Fator R na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	72
Figura 15 - Fator K na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	73
Figura 16 - Fator LS na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	74
Figura 17 - Fator C na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	75
Figura 18 - Fator P na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	76
Figura 19 - Mapa de Estimativa de Perdas de Solo na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	78
Figura 20 - Mapa de sedimentos exportados da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	80
Figura 21 - Mapa de sedimentos retidos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	82

Figura 22 - Mapa de Susceptibilidade à erosão pluvial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	84
--	----

Gráficos

Gráfico 1 - Distribuição das Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	27
Gráfico 2 - Distribuição das classes hipsométricas da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	31
Gráfico 3 - Distribuição das classes de declividade da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	33
Gráfico 4 - Distribuição dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	36
Gráfico 5 - Distribuição do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	39
Gráfico 6 - Distribuição das classes de fragilidade do relevo da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	67
Gráfico 7 - Distribuição dos níveis de Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	69
Gráfico 8 - Distribuição das classes de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	71
Gráfico 9 - USLE da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	79
Gráfico 10 - Sedimentos exportados da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16	81
Gráfico 11 - Sedimentos retidos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	83
Gráfico 12 - Susceptibilidade à erosão pluvial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.....	85

Quadros

Quadro 1 - Características gerais da UGRHI-16 Tietê Batalha	18
Quadro 2 - Apresentação, por município, dos processos erosivos lineares, urbanos e rurais, dentro dos limites da UGRHI-16.....	20
Quadro 3 - Tipos de solos e níveis de fragilidade	58
Quadro 4 - Uso e cobertura da terra e níveis de fragilidade.....	59

Tabelas

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas62

Tabela 2 – Valores de K atribuídos para as classes de solo,63

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CBH-TB	Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EUPS	Equação universal de pedra de solo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPT	Instituto de Pesquisas e Tecnologias
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SMA CPLEA	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente-Coordenadoria de Planejamento Ambiental
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	23
3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E COBERTURA DA TERRA DA ÁREA DE ESTUDO	24
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	40
4.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FLUVIAIS E DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	40
4.1.1 Impacto do Uso e Ocupação da Terra no Ciclo Hidrológico.....	42
4.2 EROSÃO ENQUANTO PROCESSO NATURAL E A EROSÃO ACELERADA ...	44
4.2.1 Energia cinética da chuva e a ruptura dos agregados	47
4.2.2 Como o modelo de ocupação afeta no processo natural de erosão	48
4.3 O USO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA MODELAGEM AMBIENTAL E SUA APLICAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL	49
4.3.1 Equação Universal de perda de solos (EUPS)	51
4.3.2 Conceito de unidades ecodinâmicas e o modelo de fragilidade ambiental	54
5 MATERIAIS E MÉTODOS	58
5.1 ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS PARA O MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	58
5.2 ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS PARA O MAPA SÍNTESE DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL	61
5.3 SÍNTESE DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL	61
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
6.1 DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA UGRHI 16.....	65
6.2 ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS POR EROSÃO LAMINAR DA UGRHI-1671	
6.3 SUSCEPTILIDADE A PROCESSOS EROVISOS PLUVIAIS DA UGRHI-16	84
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

A Geografia tem a função de entender a relação entre sociedade e natureza, ou seja, como a sociedade se relaciona com os recursos naturais disponíveis a ele. Sendo assim, ela tem como objeto de estudo o modo como o homem se organiza social e economicamente e sua relação com o meio ambiente.

Através da forma como o homem estrutura e organiza o espaço físico-territorial, torna-se cada vez mais necessário o planejamento ambiental, sendo de suma importância estudos sobre as fragilidades e potencialidades ambientais para entendermos como a natureza se comporta com e sem interferências antrópicas.

Em meio aos inúmeros problemas ambientais decorrentes da ação antrópica, destacam-se os processos erosivos acelerados, que ocorrem quando não existe equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos, que nada mais é do que o equilíbrio entre a quantidade de solo que é produzido e a quantidade de solo que se “perde” quando o relevo é modelado. A erosão acelerada, portanto, resulta da quebra desse equilíbrio a partir da interferência do homem.

Tem-se como exemplo o desmatamento de áreas localizadas em encostas para a construção de casas que não possuem saneamento básico, sendo um dos principais responsáveis pela erosão acelerada, pois, sem planejamento, o crescimento urbano não suporta as consequências das ações antrópicas.

Surgiram novas abordagens que procuram revitalizar áreas degradadas, conforme destacado por Cardoso (2019), na aplicação da Geomorfologia ao Planejamento Ambiental. A evidência recai na utilização adequada dos recursos naturais, considerando suas potencialidades e fragilidades para atender às demandas da sociedade.

Portanto, ao inserir a Geomorfologia nos estudos ambientais, entende-se como se dá as formas do relevo e através da Geomorfologia procuramos compreender como as relações com os outros componentes da natureza se dá por meio das ações antrópicas que modificaram esse ambiente ao longo do tempo (Guerra; Jorge, 2013).

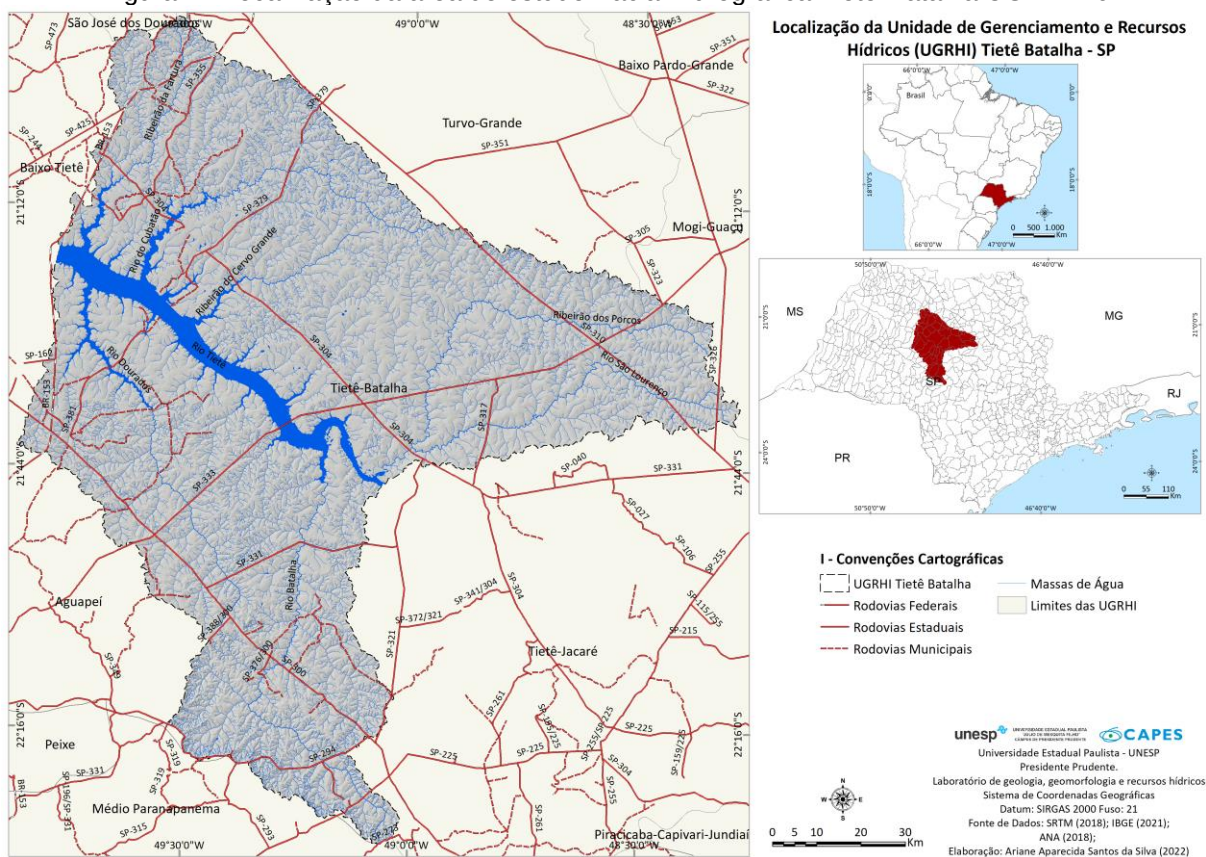
Nos estudos geomorfológicos, a erosão do solo é definida como um dos principais processos modeladores do relevo terrestre, evidenciando-se em áreas urbanas e rurais. Na urbanização desordenada, essa transformação paisagística

ocorre de maneira caótica, acarretando problemas ambientais, como erosão, assoreamento e contaminação dos recursos hídricos, dessa forma, a urbanização desordenada intensifica os desafios socioambientais nas cidades (Guerra; Jorge, 2013).

Essa pesquisa estudou sobre a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Batalha (UGRHI 16), que, de acordo com IPT (2012), está localizada na porção centro noroeste do Estado de São Paulo, abrangendo as sedes dos municípios de Adolfo, Avaí, Bady Bassit, Balbinos, Borborema, Cafelândia, Dobrada, Elisiário, Guaíçara, Guarantã, Ibirá, Irapuã, Itajobi, Itápolis, Jaci, Lins, Marapoama, Matão, Mendonça, Nova Aliança, Novo Horizonte, Pirajuí, Piratininga, Pongaí, Potirendaba, Presidente Alves, Reginópolis, Sabino, Sales, Santa Enerstina, Taquaritinga, Uru e Urupês. A UGRHI 16 abrange os tributários das margens direita e esquerda do curso inferior do rio Tietê, com destaque para os rios Batalha, Dourado e São Lourenço. Segundo CBH-TB (2016), sua área de drenagem de 12.922,18km² contendo o Reservatório de Promissão, conforme vemos na Figura 1.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha é composto por 33 municípios localizados integralmente na área da UGRHI 16, desses, 11 municípios possuem sede na Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha, mas parte de seus territórios estão localizados em áreas de outras UGRHIs, entretanto, existem 18 municípios com sedes localizadas em outras UGRHIs e com parte de seus territórios na Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha. Além disso, os municípios de Agudos, Bauru e Promissão foram agregados ao CBH-TB por meio da deliberação de CBH-TB 2008. Então, são objetos de estudo todos os municípios que contêm área dentro da UGRHI 16, mesmo fazendo parte de outras UGRHIs a partir do traçado do limite da UGRHI disponibilizado no Plano de Bacia do Tietê-Batalha (CBH-TB,2016). De forma resumida, o Quadro 1 traz as características gerais da UGRHI-16 Tietê Batalha.

Figura 1 - Localização da área de estudo Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quadro 1 - Características gerais da UGRHI-16 Tietê Batalha

População	Total (2022)	Urbana (2022)	Rural (2022)	
	540.295 hab.	503.098 hab	37.197 hab	
Área	Área territorial	Área de drenagem		
	12.391, 6km ²	13.149 km ²		
Principais rios e reservatórios	Rios: Tietê, Dourado, Batalha e São Lourenço	Ribeirões: dos Porcos e do Fugido	Córrego: Grande	Reservatório: Promissão - UHE Mario Lopes Leão
Aquíferos livres	Bauru e Serra Geral			
Principais mananciais superficiais	Rios Tietê, Dourado, Batalha e São Lourenço	Nascentes do Rio Batalha e do Córrego Saltinho	Ribeirões dos Porcos e do Fugido	Córrego Grande
Disponibilidade hídrica superficial	Vazão média (Q_{médio})	Vazão mínima (Q_{7,10})	Vazão Q₉₅%	
	98 m ³ /s	31 m ³ /s	40 m ³ /s	
Disponibilidade hídrica subterrânea	Reserva Explotável			
	9 m ³ /s			
Vegetação remanescente	Apresenta 893 km ² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 6,5% da área da UGRHI. As principais formações são a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana			
Unidades de Conservação	Unidades de Conservação de Uso Sustentável			
	APA Rio Batalha;	RPPN Fazenda Relógio Queimado;	RPPN Sítio Palmital;	RPPN Trilha Coroados
Terras Indígenas	Terras Indígenas			
	Araribá			

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê Batalha, Relatório de Situação- ano base 2022- CBH-TB (2022).

A pesquisa teve como objetivo descobrir a fragilidade ambiental e a perda de solo na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Tietê/Batalha

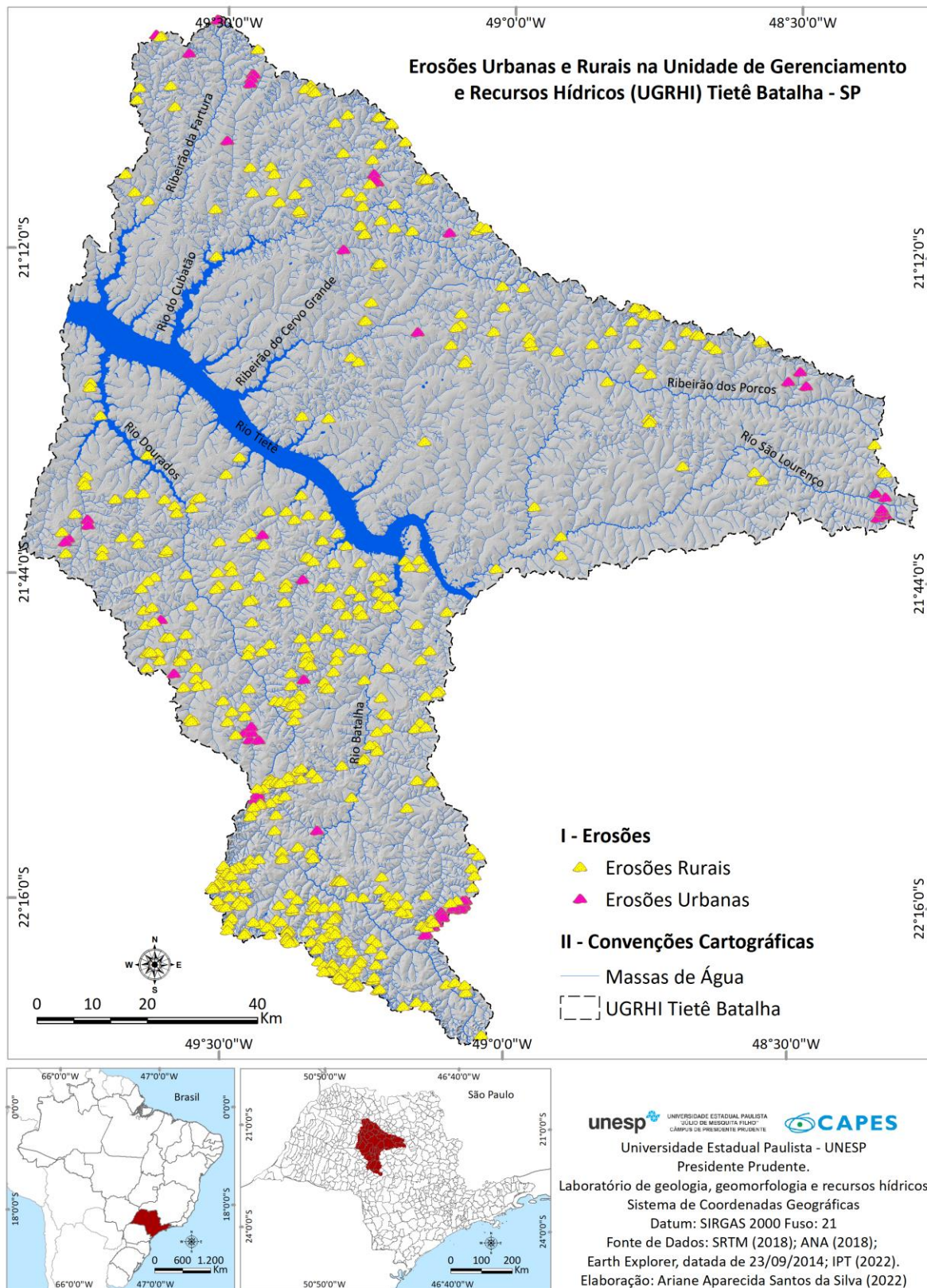
(UGHRI 16). De acordo com o Mapa de Erosão do Estado de São Paulo (IPT/DAEE, 2012) com informações expressas no Quadro 2 e na Figura 2, a UGRHI Tietê-Batalha está predominantemente inserida nas classes Muito Alta e Alta com relação a suscetibilidade à erosão, conforme o Quadro 2 foram cadastradas 65 erosões lineares urbanas (16 ravinas e 49 voçorocas) e 538 rurais (10 ravinas e 528 voçorocas).

Quadro 2 - Apresentação, por município, dos processos erosivos lineares, urbanos e rurais, dentro dos limites da UGRHI-16

Município	Erosões urbanas	Erosões rurais	Total
AGUDOS	0	2	2
AVAÍ	1	46	47
BADY BASSITT	4	4	8
BALBINOS	1	15	16
BAURU	23	42	65
CAFELÂNDIA	2	35	37
CÂNDIDO RODRIGUES	0	2	2
CEDRAL	0	4	4
DOBRADA	0	1	1
DUARTINA	0	23	23
ELISIÁRIO	1	3	4
FERNANDO PRESTES	0	5	5
GÁLIA	0	29	29
GAUIÇARA	0	3	3
GUARANTÃ	1	25	26
IACANGA	0	8	8
IBIRÁ	3	20	23
IBITINGA	0	2	2
ITAJOBÍ	1	13	14
ITÁPOLIS	0	7	7
JACI	1	2	3
JOSÉ BONIFÁCIO	0	3	3
LINS	4	19	23
MATÃO	7	2	9
MENDONÇA	0	1	1
MIRASSOL	0	1	1
NEVES PAULISTA	1	4	5
NOVA ALIANÇA	1	1	2
NOVO HORIZONTE	0	7	7
PINDORAMA	0	1	1
PIRAJUÍ	5	38	43
PIRATININGA	0	47	47
PONGAÍ	1	9	10
POTIRENDABA	0	10	10
PRESIDENTE ALVES	4	43	47
PROMISSÃO	0	3	3
REGINÓPOLIS	0	20	20
SABINO	0	2	2
SANTA ADÉLIA	0	12	12
TAQUARITINGA	3	2	5
URU	0	12	12
URUPÊS	1	10	11
TOTAL	65	538	603

Fonte: Instituto de Pesquisas e Tecnológicas, Relatório Técnico nº 131.057-205 (2012).

Figura 2 - Processos erosivos lineares na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Instituto de Pesquisas e Tecnológicas, Relatório Técnico nº 131.057-205 (2012).

Sendo assim, a pesquisa, além de ter como intuito entender a fragilidade ambiental e a perda de solo na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Tietê/Batalha (UGHRI 16) localizada na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, fornecerá subsídios ao Comitê de Bacias Hidrográficas para a identificação de áreas prioritárias para a implementação de programas de recuperação ambiental. Portanto, é de suma importância ressaltar que, mesmo que o estudo seja referente a UGRHI 16 Tietê-Batalha, esta pesquisa pode ser aplicada em outras bacias hidrográficas com o objetivo de analisar as erosões presentes na área a ser estudada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar quantitativamente a suscetibilidade da UGRHI – 16 Tiete/Batalha ao desencadeamento e aceleração de processos de erosão linear e laminar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Os objetivos específicos são:

- a) identificar os níveis de fragilidade aos processos erosivos lineares;
- b) quantificar as perdas por erosão laminar, bem como as taxas de exportação e retenção de sedimentos;
- c) identificar espacialmente níveis de susceptibilidade à erosão pluvial para o Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê/Batalha;

3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E COBERTURA DA TERRA DA ÁREA DE ESTUDO

Para a caracterização do meio físico e uso e cobertura da terra, além da pesquisa bibliográfica e cartográfica, também foram produzidos materiais cartográficos específicos para a área de estudo, como os mapas hipsométrico e clinográfico.

Em relação a constituição geológica da área de estudo, ela pertence à Bacia Sedimentar do Paraná de acordo com DAEE/UNESP (1982). Ocorrem na área rochas sedimentares de composição predominantemente arenosa pertencentes ao Grupo Bauru, representadas pelas Formações Adamantina e Marília e, secundariamente, rochas basálticas do Grupo Serra Geral. Segundo CBH-TB (2016), a área da UGRHI-16 é composta por rochas sedimentares e depósitos vulcânicos da Bacia do Paraná (formação Serra Geral), além do depósito Cenozoico. As rochas sedimentares pertencem ao Grupo Bauru e recobrem a formação Serra Geral.

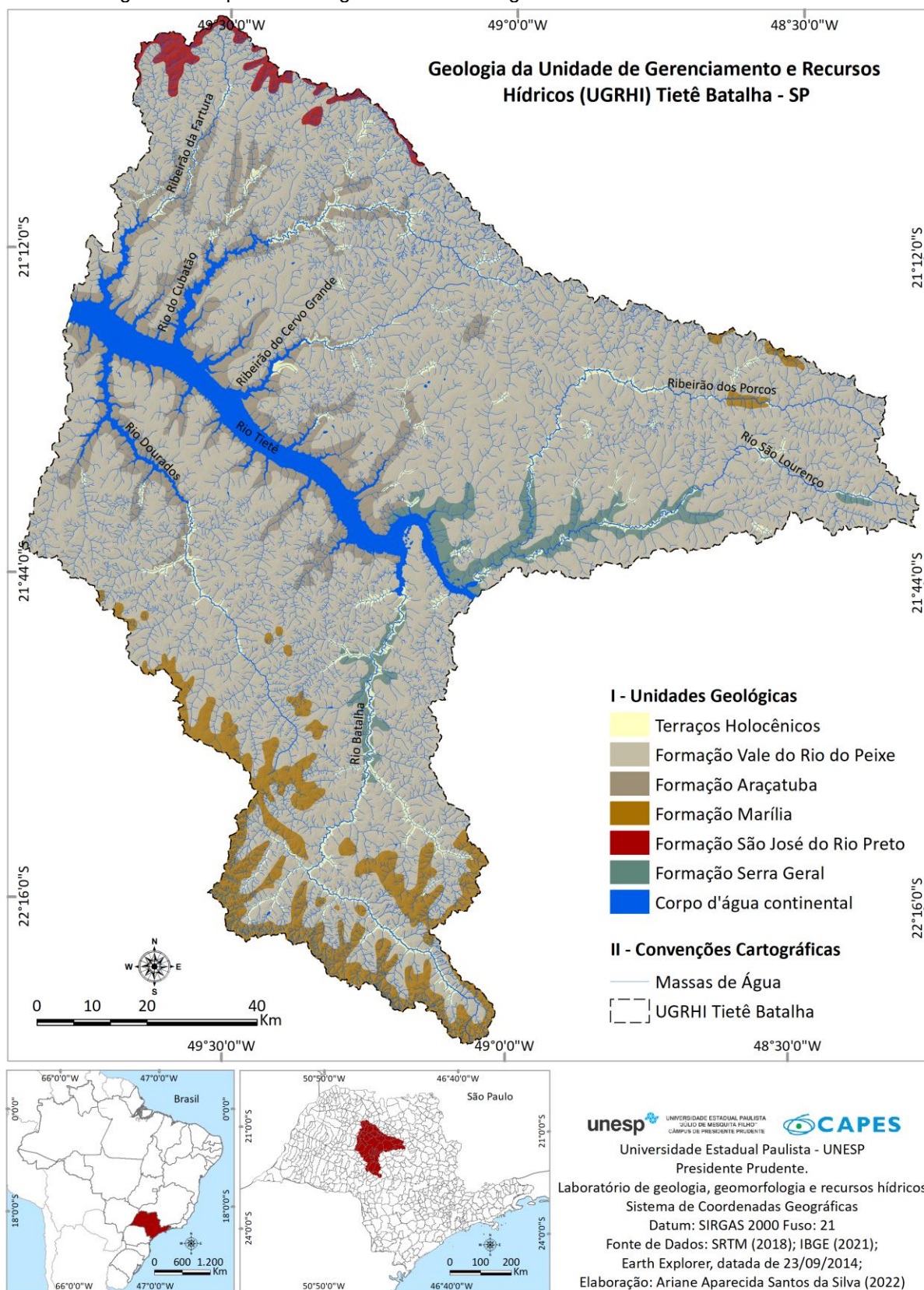
As características geológicas da Bacia Tietê Batalha refletem em sua evolução histórica da Bacia Sedimentar do Paraná. As rochas basálticas formaram-se em virtude de um intenso vulcanismo que ocorreu no início do período Cretáceo, quando ainda prevaleciam as condições desérticas na Bacia do Paraná. Esse vulcanismo foi acompanhado de perturbações tectônicas que geraram arqueamentos e soerguimentos nas suas bordas, associados a um grande número de falhamentos, responsáveis pela estrutura atual da Bacia (CBH-TB, 2016).

Segundo CBH-TB (2016), a formação Serra Geral é constituída de rochas efusivas básicas. Os derrames são formados por um conjunto de rochas basálticas toleíticas e afaníticas dispostas em camadas sub-horizontais. Na área da Bacia Tietê-Batalha, a formação Serra Geral aflora ao longo de vales do Rio Tietê e de seus principais afluentes, principalmente da margem direita. Nessas áreas relativamente planas, os basaltos podem ser identificados pela presença de solos diretamente relacionados à rocha, tais como os solos de alteração e residuais, vermelho-escuros e argilosos.

Os sedimentos do Grupo Bauru da Bacia Tietê - Batalha são representados por quatro formações geológicas: Araçatuba, Marília, São José do Rio Preto e Vale

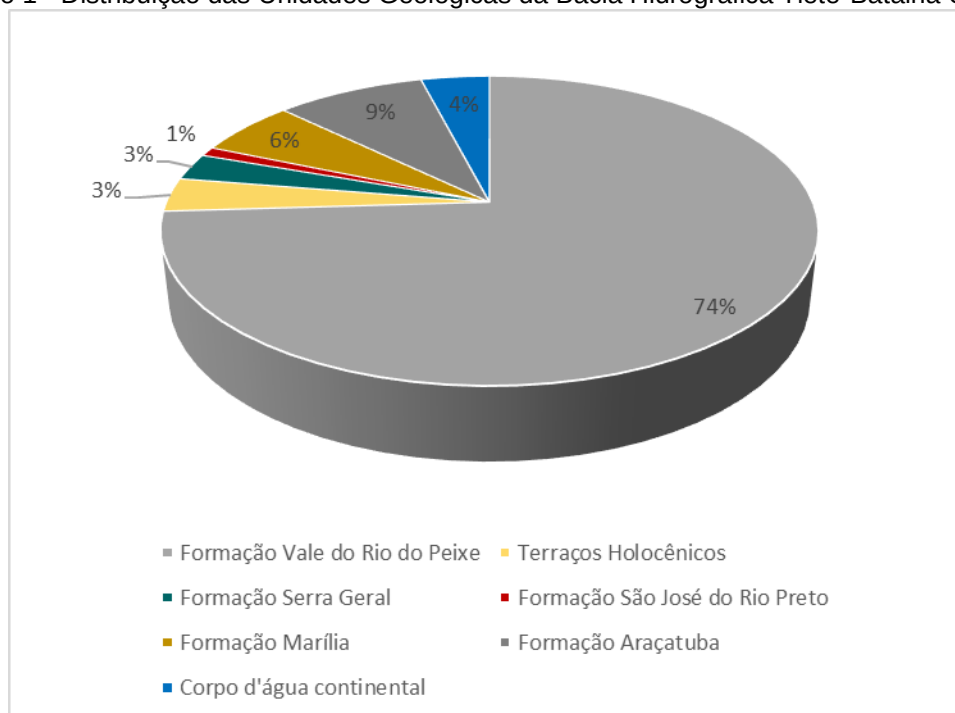
do Rio Peixe. As rochas dessas formações geológicas constituídas, sobretudo, por arenitos são em geral brandas, apresentando baixas resistências mecânicas. Porém, quando cimentadas, essa condição é alterada, passando a ter maiores coerências e resistências. A formação Vale do Rio Peixe possui ampla distribuição em toda a bacia, sendo o grupo geológico dominante em relação às demais unidades (CBH-TB, 2016). Conforme a Figura 3 e o Gráfico 1, segundo o IBGE (2021), na área de estudo, estão representadas as formações geológicas da área de estudo. Observa-se a predominância da formação Vale do Rio do Peixe com 74%, a formação Marília abrange 5% e a formação Serra Geral 2%.

Figura 3 - Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: IBGE (2021).

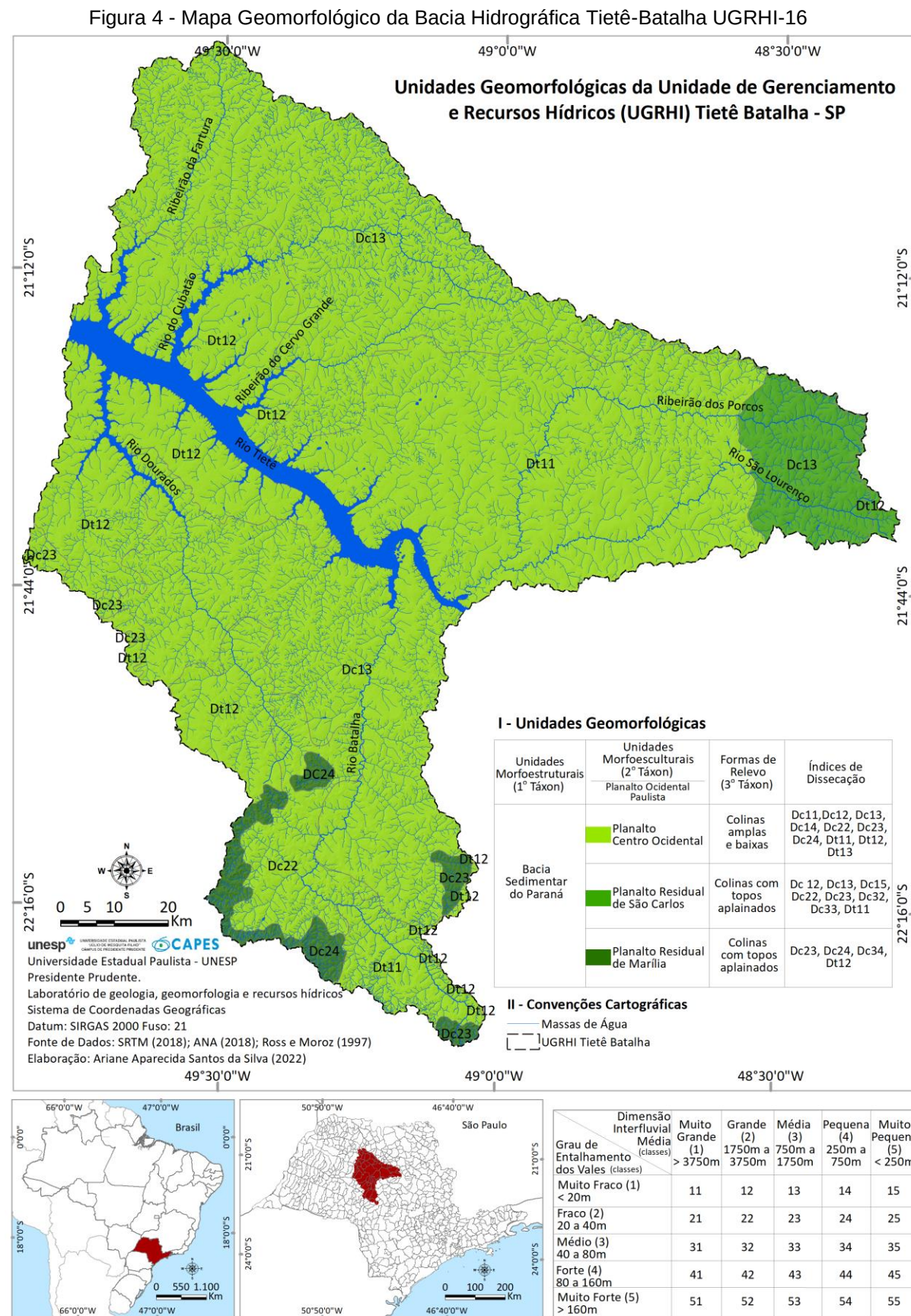
Gráfico 1 - Distribuição das Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Bacia Hidrográfica Tetê-Batalha está inserida na Província Geomorfológica Planalto Centro Ocidental, que é caracterizada pelas formas de relevo levemente onduladas com longas encostas e baixas declividades com colinas amplas e colinas médias com topos aplanados (CBH-TB, 2016).

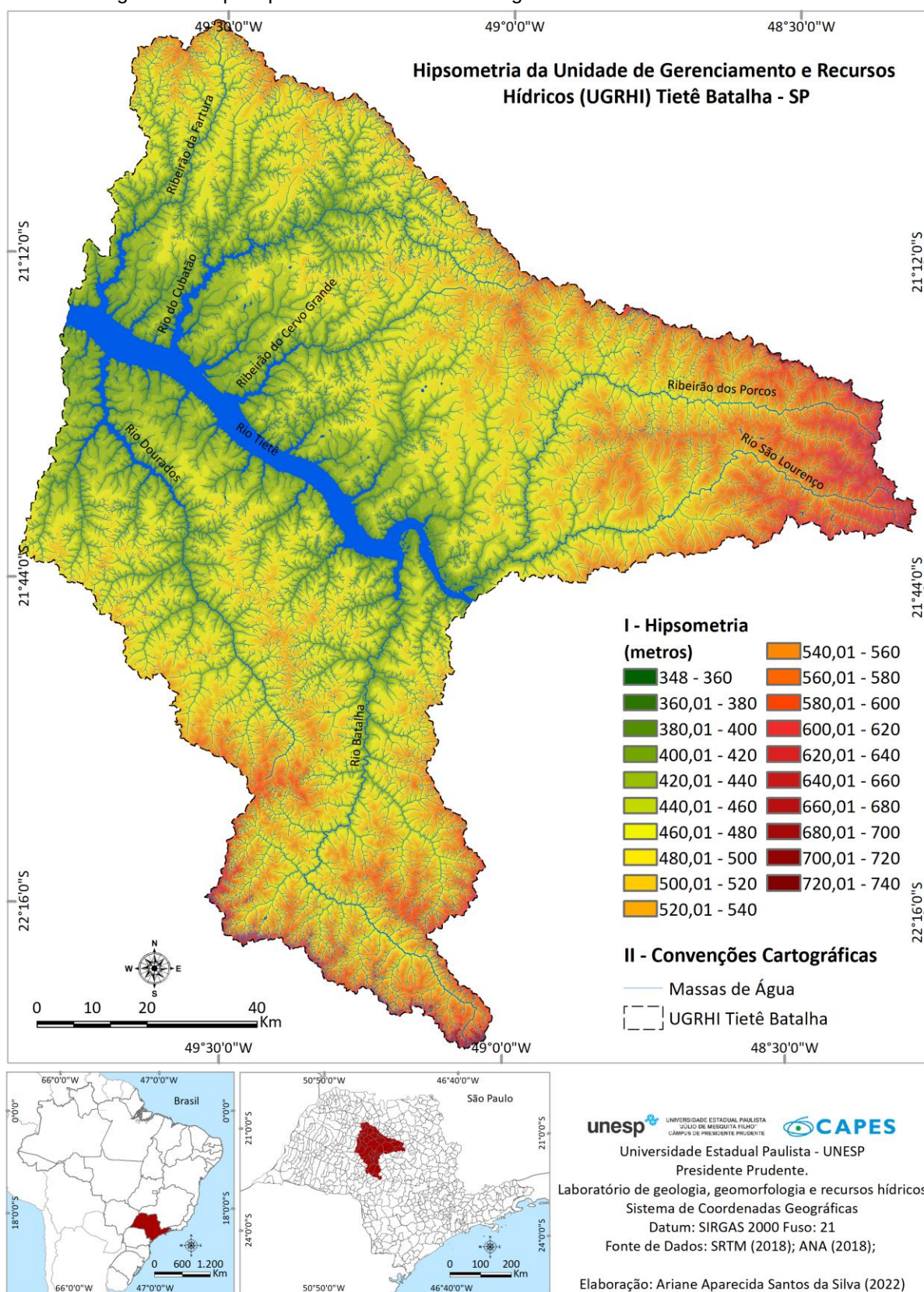
Segundo CBH-TB (2016), a caracterização do relevo permite fornecer elementos para planejamento regional, avaliação de facilidades/dificuldades de urbanização, reconhecimento pedológico, análise do tipo de manejo agrícola e análise da distribuição e da intensidade dos processos erosivos atuantes nos diferentes padrões morfológicos. A Figura 4 apresenta o Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.



Conforme Ross e Moroz (1997), a UGRHI 16 localiza-se na unidade morfoescultural Planalto Centro Ocidental Paulista, com predominância de altitudes entre 300 e 600 metros, declividades inferiores a 20%, formas de dissecção médias e altas, vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, apresentando fragilidade potencial média. Também abrange pequenas porções da unidade morfoescultural Planalto Residual de São Carlos, caracterizada por formas de dissecção médias a altas, vales entalhados, densidade de drenagem média a alta e um nível de fragilidade potencial médio, com áreas sujeitas a intensa atividade erosiva. A declividade exerce um papel importante na modelagem do escoamento, pois a velocidade de fluxo depende dessa variável.

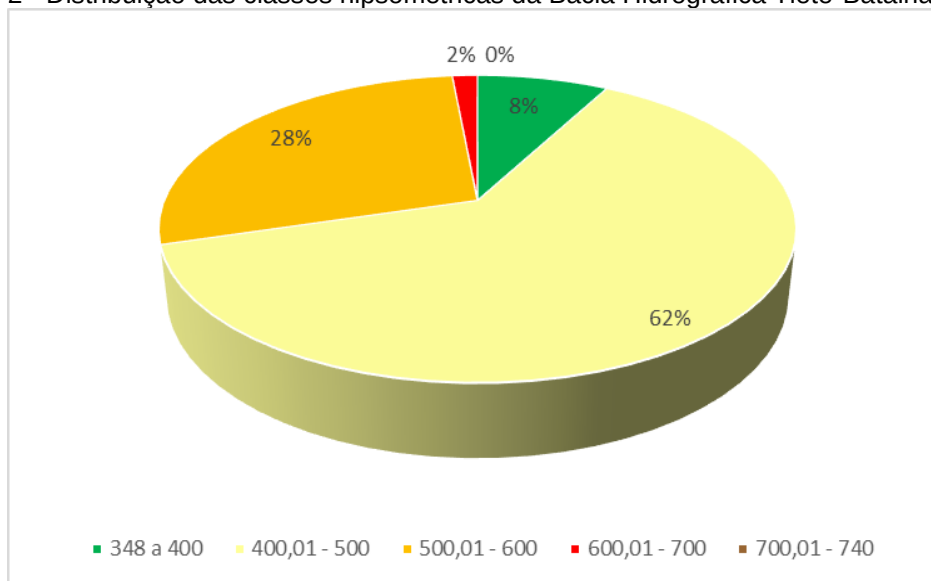
A Figura 5 representa o mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16. A hipsometria caracteriza o relevo através de curvas de nível, com o intervalo de altitudes discriminadas com diferentes cores. A diferença entre a elevação máxima e a elevação mínima resulta na amplitude altimétrica da área. De acordo com a análise do mapa, as altimetrias da área de estudo variam de 348 a 740 metros. No Gráfico 2, pode-se perceber que as altitudes que predominam na UGRHI 16 estão entre 400 a 600 metros.

Figura 5 - Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

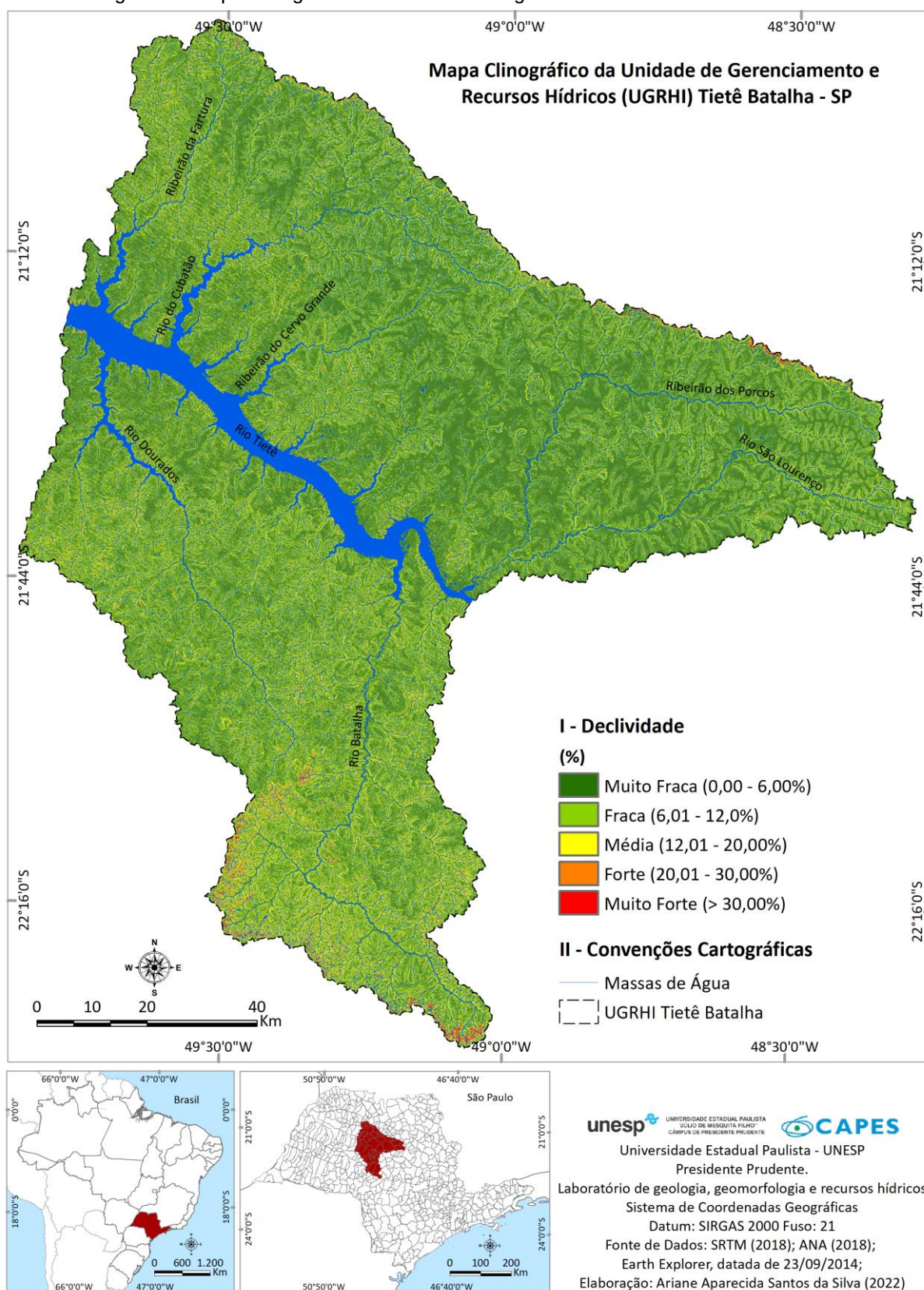
Gráfico 2 - Distribuição das classes hipsométricas da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

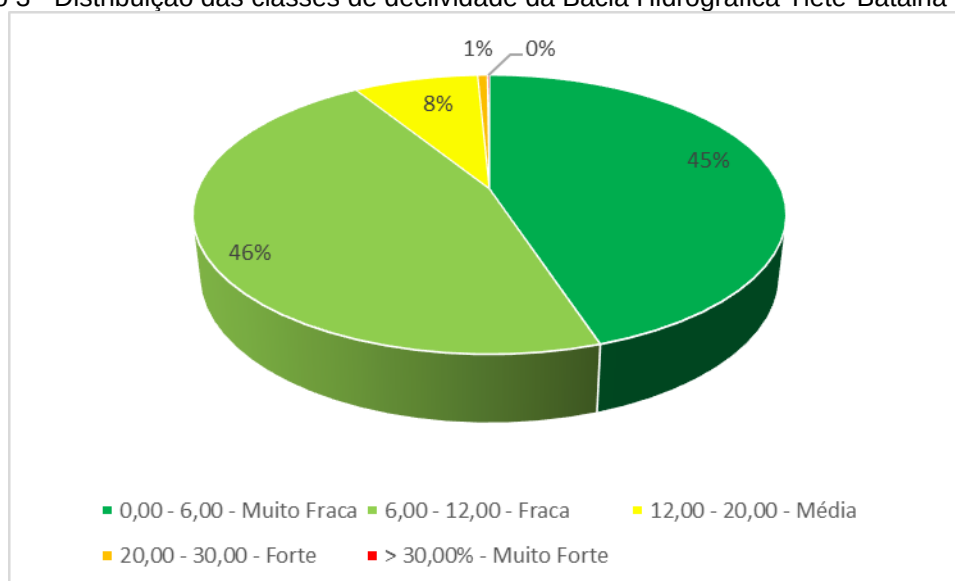
Na Figura 6 e no Gráfico 3 estão representadas as distribuições das classes de declividade da área de estudo. É observado a predominância de áreas classificadas como abaixo ou até 6% e de 6% a 12%.

Figura 6 - Mapa clinográfico e da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Gráfico 3 - Distribuição das classes de declividade da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Segundo Oliveira (1999), as associações pedológicas que eram predominantes na UGRHI Tietê-Batalha incluem Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Eutróficos, abrupticos ou não, altamente propensos à erosão devido ao gradiente textural entre os horizontes A e B. Secundariamente, encontram-se Latossolos Vermelhos distróficos e Gleissolos associados às planícies fluviais, conforme Figura 7, Gráfico 4.

Segundo a Embrapa (2023), Argissolos Vermelho-Amarelos são profundos a pouco profundos, moderadamente a bem drenados, com textura muito variável, porém com predomínio de textura média na superfície e argilosa em subsuperfície. Devido à grande diversidade de suas características na paisagem, as quais interferem no uso agrícola, além da ocorrência nos mais variados relevos, é difícil generalizar suas qualidades e limitações ao uso agrícola para a classe como um todo. De uma maneira geral, pode-se afirmar que os Argissolos são muito susceptíveis à erosão, sobretudo quando o gradiente textural é bastante acentuado (textura arenosa/argilosa) em condições de relevo mais movimentado. Nesse caso, não são recomendados para agricultura, com o uso direcionado à pecuária e ao reflorestamento ou às áreas de preservação da flora e fauna. Quando localizados em áreas de relevo plano e suave ondulado, esses solos têm aptidão para diversas culturas, desde que sejam realizadas correção da acidez, principalmente quando se tratar de solos distróficos, e sejam utilizados sistemas de cultivos

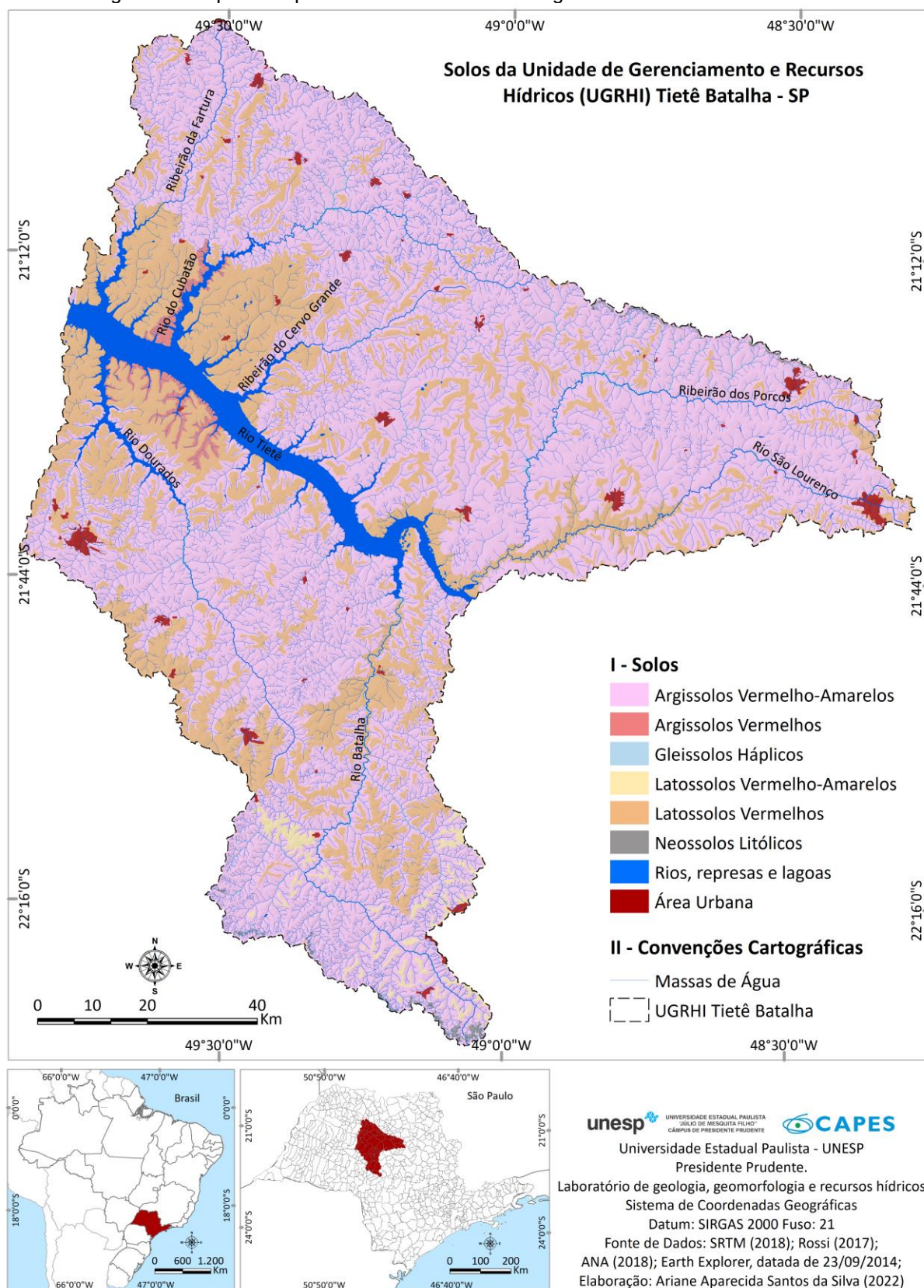
conservacionistas com pouca movimentação do solo e/ou práticas de conservação de solo e água.

Os Latossolos Vermelho Amarelos são solos muito profundos, bem drenados, friáveis ou muito friáveis, de textura pouco variável em profundidade, mas bastante variável entre diferentes locais, de média a muito argilosa, podendo ser arenosa em superfície. As excelentes condições físicas aliadas ao relevo plano ou suave ondulado onde geralmente ocorrem favorecem sua utilização mecanizada para as mais diversas culturas climaticamente adaptadas à região. Esses solos, por serem ácidos e distróficos, requerem correção de acidez e adubação com corretivos e fertilizantes. Os solos argilosos e muito argilosos têm melhor aptidão agrícola que os de textura média, tendo em vista que estes últimos são mais pobres e retêm menos nutrientes da adubação e umidade da chuva por maiores períodos, além de serem mais facilmente erodidos sobre uso inadequado e intensivo de equipamentos agrícolas. A deficiência de micronutrientes também pode ocorrer, sobretudo nos solos de textura média (Embrapa, 2023).

E os Gleissolos são solos de textura muito variável, inclusive entre horizontes de um mesmo perfil de solo, de fertilidade baixa a alta e não apresentam horizonte B associado à mudança textural abrupta, o que os diferencia dos Planossolos. Normalmente, apresentam grande variação de seus atributos na paisagem, o que pode ocorrer a pequenas distâncias devido ao ambiente deposicional em que foram formados (Embrapa, 2023).

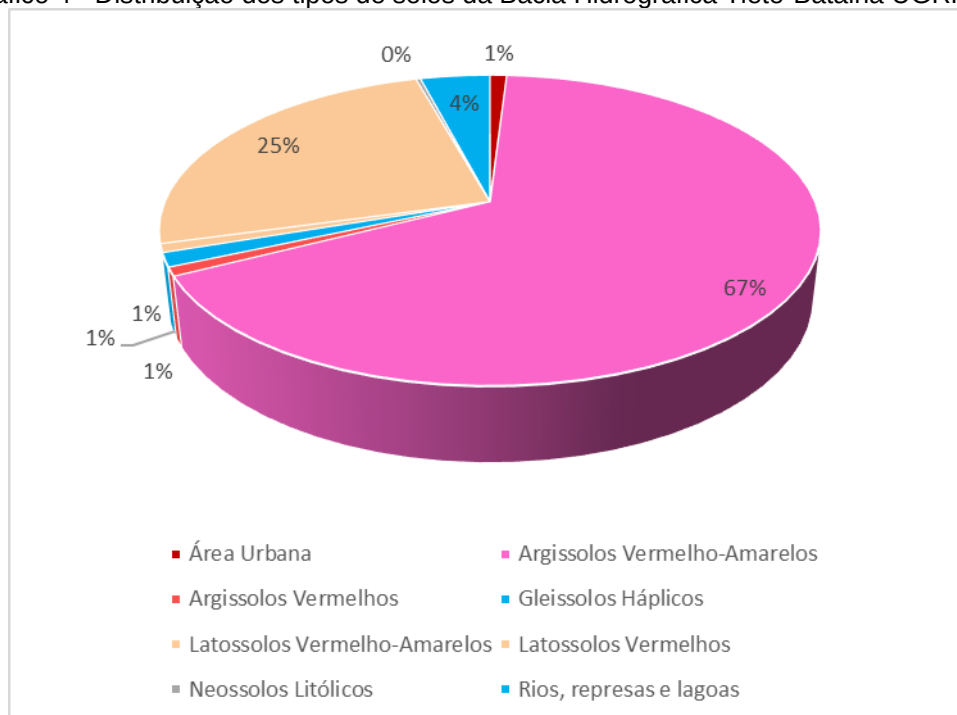
Na Figura 7, apresenta-se o mapa dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16 e o Gráfico 4 representa suas distribuições na área de estudo. Observa-se a predominância dos Argissolos Vermelho-Amarelos que ocupam 67% da área.

Figura 7 - Mapa dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Rossi (2017).

Gráfico 4 - Distribuição dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Segundo CBH-TB (2016), a UGRHI-16 enfrenta uma situação crítica, devido que apenas 7,8% de sua área é vegetada, indicando uma drástica redução em relação ao ambiente natural. A análise individual dos municípios não altera significativamente esse panorama, com apenas Agudos, Bauru, Novo Horizonte, Sales, Presidente Alves e Taquaritinga possuindo mais de 10% de cobertura vegetal. O problema na vegetação representa um sério problema para os recursos hídricos da bacia, especialmente nas matas ciliares, nas nascentes e nos mananciais de abastecimento.

Conforme CBH-TB (2016), a rede urbana da UGRHI-16 - Tietê-Batalha destaca-se pela ausência de polos urbanos regionais, sendo composta por pequenas e médias cidades polarizadas por centros urbanos de outras regiões hidrográficas com maior dimensão e complexidade econômica. A urbanização da bacia é moldada pela interconexão das rodovias Washington Luís – Anhanguera (SP-330) e Marechal Rondon - Castelo Branco (SP-280), além de uma extensa malha viária de rodovias intermunicipais. Essas vantagens locais conferem à região elevada acessibilidade aos principais centros regionais do interior paulista.

A bacia possui uma localização estratégica em relação à Hidrovia Tietê-Paraná e ao Gasoduto Brasil-Bolívia, passando por municípios como Guaíçara,

Lins, Cafelândia, Pongaí, Uru, Pirajuí, Reginópolis e Promissão. Situada no centro do Estado, a Bacia Tietê-Batalha abriga uma rede de cidades predominantemente pequenas e médias, com menos de 10 mil habitantes em sua maioria. Em 2014, a população total era de aproximadamente 523.000 habitantes, representando cerca de 1,22% da população do Estado de São Paulo. Em 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) médio foi de 0,738, indicando alto desenvolvimento humano. Segundo o SEADE (2012), o setor de serviços liderou o crescimento econômico, com 1,1% entre 2010 e 2012, seguido pela indústria, que aumentou 0,9%.

De acordo com a Figura 8, o Gráfico 5 na UGRHI Tietê-Batalha, as pastagens e/ou campos antrópicos abrangem 64,58% da região, seguidas por atividades agrícolas com 18,95%, e demais usos, como áreas urbanas, vegetação natural e outros, correspondendo a 16,47% (SMA CPLEA, 2005). A agropecuária destaca-se como a principal atividade econômica, com ênfase nas culturas de cana-de-açúcar e laranja, enquanto as atividades industriais, especialmente sucroalcooleira, predominam nas áreas de mecânica e alimentos. Assim, os solos desempenham papel crucial como recurso natural para o desenvolvimento econômico e social da região, sendo atrativos para o processo de ocupação (CBH-TB, 2016).

A Figura 8 apresenta o mapa do Uso e Cobertura da terra da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16 e o Gráfico 5 representa a distribuição de cada classe de usos e ocupação. Observa-se a predominância da cana de açúcar e secundariamente, do cultivo de pastagem.

Figura 8 - Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16

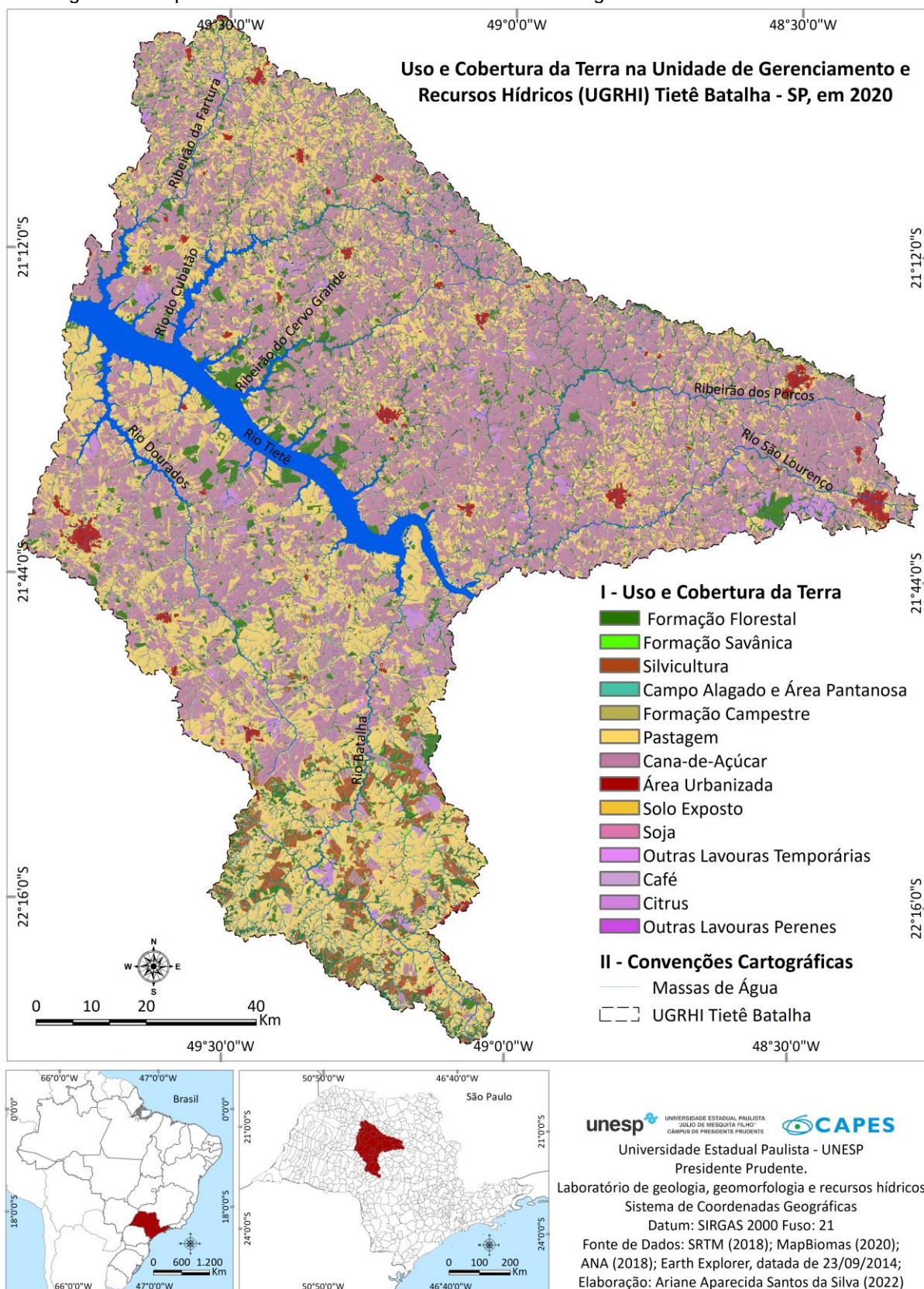
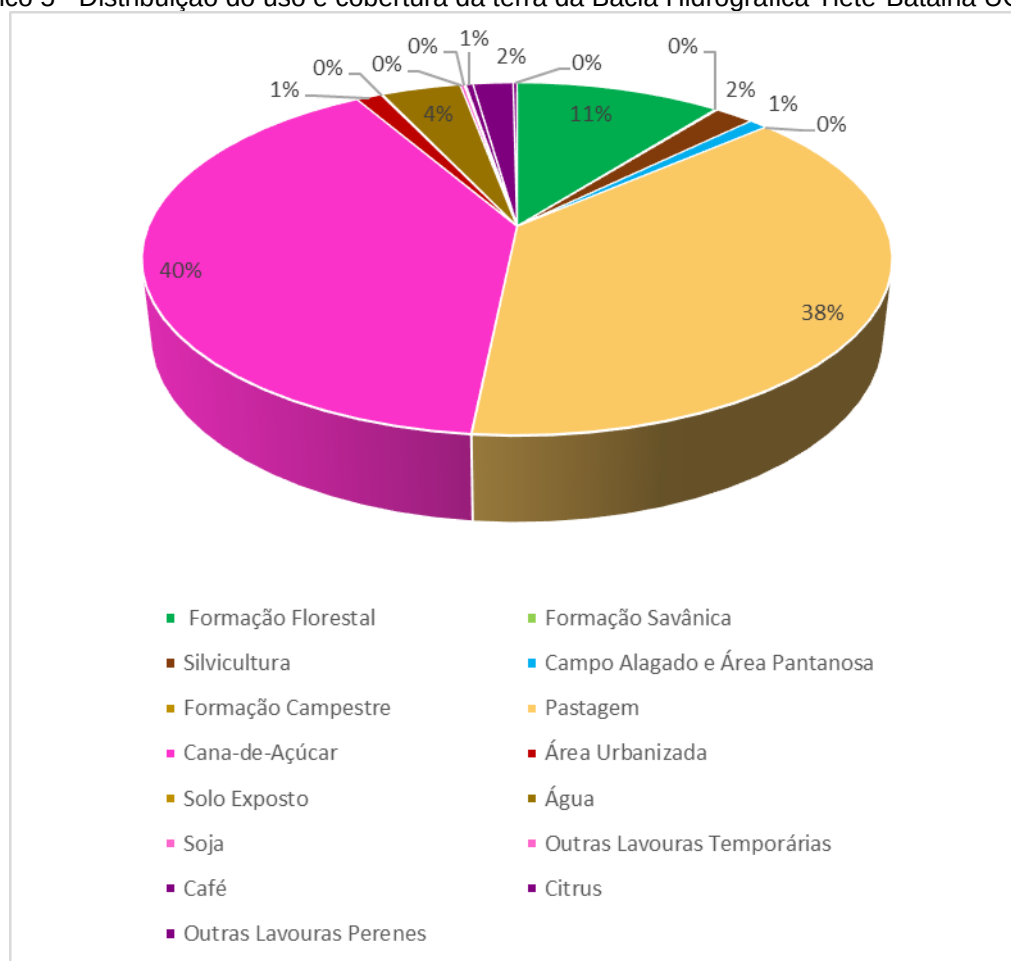


Gráfico 5 - Distribuição do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FLUVIAIS E DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Segundo Braga (2008), a água é um recurso natural com muitos usos, essencial à vida humana e para o funcionamento dos ecossistemas e, segundo Drew (1983), o que restringe a expansão da agricultura e o povoamento de várias regiões é a insuficiência de água porque a água é o mais importante recurso da humanidade em escala mundial.

Para Tundisi (2014, p. 1)

Antes da existência do *Homo sapiens* no planeta Terra a água era exclusivamente utilizada para manter os ecossistemas. Com a chegada da espécie humana, o desenvolvimento agrícola, especialmente a irrigação, e a diversificação dos usos da água introduziram inovações nas formas de apropriação dos recursos hídricos, resultando em estresse hídrico, com crescentes conflitos entre diferentes usos, e escassez de água, devido ao desequilíbrio entre a disponibilidade e demandas).

De acordo com Drew (1983, p. 88)

Além dos benefícios econômicos e sociais, outra razão para o alto grau de interferência humana no ciclo hidrológico é a relativa facilidade com que se conseguem realizar modificações de grande porte. (...) o homem prefere intervir no sistema hidrológico nos pontos em que a relação custo/benefício seja a melhor, empregando a tecnologia disponível.

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação da água em suas 3 fases: gasosa (vapor), líquida (chuva e escoamento) e sólida (gelo e neve) (Aquiles, 2019).

Conforme demonstra a Figura 8, o ciclo hidrológico pode ser definido como um fenômeno de circulação fechada de água mediante a superfície da terra e atmosfera, que são impulsionados principalmente pela energia solar junto com a gravidade e a rotação terrestre (Balbinot *et al.*, 2008)

Figura 9 - O ciclo hidrológico



Fonte: USGS (s.d).

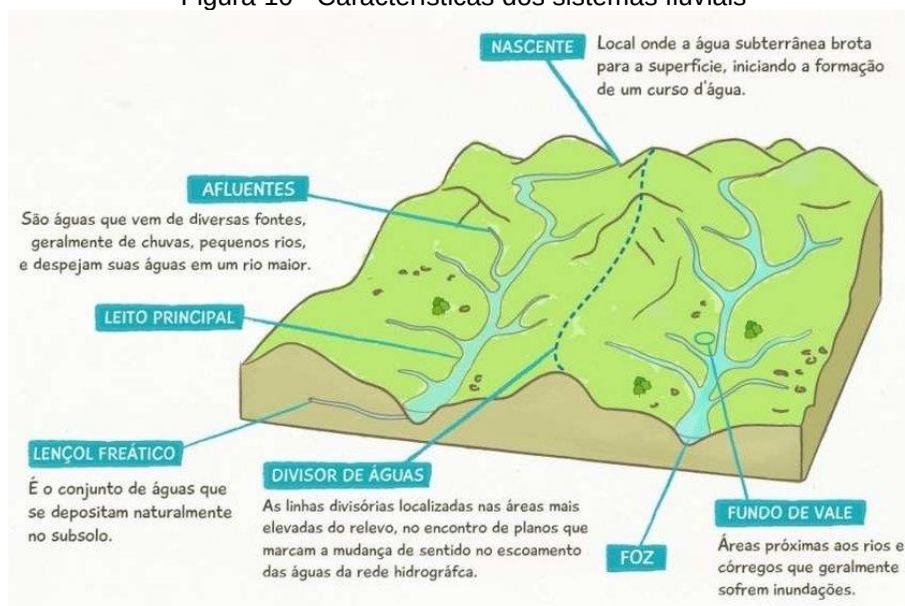
Drew (1983) aponta que o funcionamento do ciclo hidrológico, o entendimento parcial do homem sobre o ciclo hidrológico, principalmente na terra, contrasta com a compreensão recente de outros aspectos, como a erosão e o ciclo de nutrientes. Essa abordagem integrada levou, no entanto, ao descuido da interação entre a água e outros elementos do meio físico.

Conforme Rodrigues e Adami (2011), A Bacia Hidrográfica é um sistema que envolve um volume de materiais, sendo eles líquidos e sólidos e estando próximos à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais a partir do fornecimento de água pela atmosfera.

Ainda segundo Rodrigues e Adami (2011), a rede fluvial também denominada de rede hidrográfica ou rede de drenagem é composta por todos os rios de uma bacia hidrográfica como demonstra a Figura 9. A rede hidrográfica e bacia hidrográfica não possuem dimensões fixas, seu tamanho depende das subdivisões atribuídas a elas. Para reconhecermos os limites espaciais das bacias hidrográficas é preciso considerar a distribuição espacial do conjunto dos processos envolvidos em todos os seus subsistemas assim a bacia estará delimitada. Portanto, a bacia hidrográfica compreende todos os processos relativos ao funcionamento de uma rede fluvial incluindo as alterações diretas e indiretas desencadeadas pela água,

inclusive os pedogenéticos, sendo a água agente de mudanças físicas, químicas e bioquímicas nos ambientes por onde circula.

Figura 10 - Características dos sistemas fluviais



Fonte: ResearchGate (s.d.).

4.1.1 Impacto do Uso e Ocupação da Terra no Ciclo Hidrológico

Para os humanos manterem sua alimentação, moradia e outras necessidades básicas, nós precisamos utilizar os recursos fornecidos pela natureza. Ao longo dos anos e com o desenvolvimento tecnológico, precisa-se cada vez mais da utilização desses recursos, tendo como consequência impactos socioambientais influenciando no ciclo hidrológico.

Segundo Bayer (2014), as alterações no regime hidrológico vem sendo discutida com o objetivo de buscar saber quais são as consequências da retirada da vegetação sobre o escoamento e sobre a disponibilidade de recursos hídricos em bacias hidrográficas, pois, ao retirar a vegetação, podemos gerar impactos no ciclo hidrológico e um dos impactos é a diminuição de vazões em cursos d'água. Ao analisarmos essas diminuições, poderemos verificar a quantidade disponível de água e a forma de mitigar as ações antrópicas em relação ao uso e ocupação das bacias hidrográficas.

Uma das variáveis mais importantes para se analisar no ciclo hidrológico é a vazão de um curso d'água, pois representa o volume provocado das chuvas e do

escoamento de base (oriunda dos aquíferos que circulam na bacia hidrográfica) (Collischonn, 2013).

Para preservar esses rios, é definida uma quantidade de água que deve permanecer no leito de um curso d'água, que se chamam vazões mínimas ou vazões ecológicas (Cruz, 2005; Medeiros *et al.*, 2011).

Existe uma correlação entre as modificações na cobertura terrestre e as variações nos regimes de vazão dos rios, associando o uso e ocupação do solo a alterações na cobertura natural, como erosões, impermeabilização, inundações e assoreamentos. Esse vínculo foi destacado por Costa Pereira *et al.* (2020), Cruz *et al.* (2022), Araújo e Ponte (2016), Duarte *et al.* (2021) e Pereira *et al.* (2018). As mudanças climáticas têm um impacto significativo na hidrologia, incluindo o escoamento e rendimento de sedimentos. O aumento da temperatura do ar e a alteração dos padrões de captação afetam diretamente a quantidade e o momento da disponibilidade de água na bacia hidrográfica, alterando a quantidade e a vazão do escoamento superficial. Essas mudanças podem aumentar a pressão e a produção de sedimentos, que podem afetar a qualidade da água, a biodiversidade, a pesca e outras atividades dependentes dos recursos hídricos.

Para obter uma compreensão mais aprofundada desses impactos, são empregadas várias abordagens, incluindo a modelagem hidrológica. Essa abordagem considera as características da distribuição das condições climáticas e da cobertura vegetal superficial, permitindo a quantificação dos impactos ambientais das mudanças climáticas e da vegetação no escoamento superficial e no rendimento de sedimentos. Além disso, as informações fornecidas por esses modelos podem auxiliar na tomada de decisões relacionadas à gestão dos recursos hídricos e à adaptação às mudanças climáticas. A hidrologia está intrinsecamente ligada às condições climáticas e, portanto, seria desejável que os modelos hidrológicos e atmosféricos estivessem acoplados.

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) do Brasil, cabe aos estados e ao Distrito Federal definirem as vazões de referência, que servirão de parâmetro aos recursos hídricos definindo a quantidade de água disponível nas bacias hidrográficas.

Com isso, garante o uso e ocupação do solo de forma benéfica às bacias hidrográficas, é preciso garantir que a população e as empresas que utilizam os recursos dessas bacias tenham controle e por parte do poder público haja um

monitoramento das atividades dessas bacias ao longo dos anos, com o objetivo de analisar as vazões desses cursos d'água.

Pode-se inferir que a vegetação desempenha um papel crucial na modulação desses processos hidrológicos. A mudança na cobertura vegetal pode afetar significativamente a quantidade e a qualidade do escoamento superficial e do rendimento de sedimentos, com consequências negativas para a qualidade da água, a estabilidade do solo e a segurança hídrica das populações, que dependem dos recursos hídricos locais.

Nesse contexto, a modelagem hidrológica distribuída surge como uma ferramenta útil para quantificar os impactos ambientais das mudanças climáticas e da vegetação no escoamento superficial e no rendimento de sedimentos, permitindo a avaliação de cenários futuros e desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação.

4.2 EROSÃO ENQUANTO PROCESSO NATURAL E A EROSÃO ACELERADA

Segundo Fernandes (2011, p. 17), a erosão é:

um termo que representa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas de solo causada por agentes erosivos, tais como o gelo, o vento, a gravidade e a água. Em particular, a erosão onde o agente erosivo é a água é chamada de erosão hídrica.

Diversas definições abordam a erosão. Conforme Conciani (2008), é o desprendimento e arraste de partículas do solo devido às intempéries. Para Almeida Filho (1998), é um processo natural de desgaste do relevo por ação da água, vento, gravidade, entre outros. A erosão é o desenvolvimento natural da paisagem, pode ser intensificada pelo homem, denominada erosão acelerada ou antrópica. Contudo, destaca-se que a ação humana pode também minimizar os processos erosivos.

O autor Conciani (2008) estabelece uma divisão de oito tipos de erosões, sendo elas: erosão pluvial por arrastamento; erosão eólica; erosão fluvial; erosão marinha; erosão glacial; erosão interna (piping); erosão laminar; erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas).

Segundo Conciani (2008), a erosão pluvial por arrastamento “splash” é distinguida pelo deslocamento de partículas por meio da energia cinética da água da chuva, que retira a camada fértil do solo, tornando-o cada vez mais improdutivo.

A erosão eólica é causada pela ação dos ventos, que tem como função ser um agente transformador do relevo. Já a erosão marinha nada mais é do que a água do mar como agente que provoca desgaste nas rochas ou solos do litoral. A erosão glacial é causada pela ação do gelo, esse tipo de erosão é causada pelo congelamento e descongelamento da água, que devido a essas ações acabam alterando as rochas e os solos.

Em ambientes úmidos, a erosão fluvial, conforme Conciani (2008), é um processo contínuo de escavação ao longo do ano. A força das águas superficiais e dos rios retira solos das margens, sendo mais pronunciada em períodos de maior vazão, quando o volume e a velocidade dos rios aumentam. Em áreas acidentadas, essa forma de erosão é ainda mais acentuada. A erosão fluvial é um dos principais agentes no reajustamento da morfologia do canal, buscando um novo equilíbrio dinâmico e influenciando significativamente a dinâmica do sistema fluvial, destacando-se como um dos processos geomórficos mais dinâmicos na alteração da trajetória de um canal fluvial.

Quanto à erosão interna (piping), se confere que a mesma “ocorre internamente ao maciço de solo. Isto é, esta forma de erosão só é percebida na superfície quando existem subsidências (recalques) de grande magnitude devidas ao afundamento dos ‘canais’ formados no solo” (Conciani, 2008, p. 21).

Segundo Seixas (1984), a erosão laminar, ao arrastar as camadas superficiais do solo, resulta na remoção homogênea de uma capa de solo, representando uma ameaça significativa para a agricultura. Sua característica menos perceptível dificulta a detecção precoce, causando prejuízos substanciais aos proprietários de terra devido à perda de solos férteis. Em relação à erosão linear, costuma ser mais comum em encostas inseridas em ambientes úmidos localizados em regiões tropicais. Segundo Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998), essa erosão é causada pelo fluxo da água do escoamento superficial concentrado, que resulta em cortes nas superfícies do terreno em forma de sulcos, que ao se aprofundar podem evoluir para ravinas e posteriormente para voçorocas.

Segundo Rubira (2016), existem vários fatores que contribuem para o desenvolvimento das erosões, como: trilhas de gado, as estradas vicinais, a

concentração de águas pluviais e os locais submetidos ao manejo agrícola impróprio devido à remoção de cobertura vegetal, principalmente em áreas de fundos de vale. O homem fator antrópico contribui aumentando o desenvolvimento dos processos erosivos por meio do desmatamento das coberturas vegetais, do manuseio inadequado do solo na agricultura, da criação intensiva de animais, da abertura de valetas na contenção de estradas e loteamentos, entre outros fatores.

Para combater a erosão acelerada, é importante adotar medidas de conservação do solo, como o plantio de árvores e culturas agrícolas em terraços ou curvas de nível, a adoção de práticas agrícolas conservacionistas, como o plantio direto e a rotação de culturas e a construção de sistemas de drenagem para evitar a erosão causada pelo escoamento da água. Além disso, é importante que as atividades humanas sejam realizadas de forma planejada e sustentável, para evitar danos ambientais irreparáveis e garantir a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras.

Autores como Galetti (1982), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Guerra e Mendonça (2004) e Fernandes (2011) apontam os seguintes fatores como condicionantes da erosão: a) clima; b) relevo; c) cobertura vegetal; d) ação antrópica; e) natureza do solo. Costa *et al.* (2005, p. 11) nos relatam que:

Os fatores que influenciam os processos erosivos são: a erosividade, medida pela intensidade e energia cinética da chuva; a erodibilidade, determinada pelas características físicas, químicas e morfológicas do solo; a cobertura vegetal, pela sua maior ou menor proteção do solo; os declives e comprimentos das encostas, as práticas de conservação e o manejo do solo.

Segundo Guerra e Cunha (1998), a erosão do solo se dá não só pelas águas da chuva, mas também por uma série de fatores controladores que determinam as variações nos índices de erosão, tais como: precipitação (intensidade e duração); solos (textura, estrutura, permeabilidade e as características químicas e mineralógicas); cobertura vegetal; relevo (declividade e comprimento da encosta) e uso do solo.

Para os autores Galetti (1982), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Guerra e Mendonça (2004) e Fernandes (2011), a precipitação pluviométrica (intensidade e duração) é o fator climático de maior importância no desenvolvimento dos processos erosivos.

4.2.1 Energia cinética da chuva e a ruptura dos agregados

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), para compreender os processos erosivos, é necessário entender o impacto da gota da chuva, o escoamento superficial e o escoamento subsuperficial, pois a intensidade e a duração das chuvas são os principais fatores para que se desenvolvam as erosões, uma vez que a capacidade de infiltração do solo é excedida durante tempestades de curta duração e alta intensidade, bem como tempestades de longa duração e baixa intensidade podem causar erosões, portanto, chuvas com maior duração e alta frequência vão ocasionar enxurradas mais volumosas e como consequência gerar maiores perdas de solo.

Guerra e Mendonça (2004) também destacam como fatores a intensidade, duração, frequência da chuva, a velocidade de queda e diâmetro da gota e a energia cinética da chuva natural, que influenciam diretamente na formação das erosões. Portanto, as chuvas com maiores intensidades e frequência possuem uma grande energia cinética durante a queda o que proporciona maior propensão a processos erosivos.

Segundo Selby (1993), a erosão pelo impacto da gota da chuva é responsável pela: desagregação das partículas do solo, pelo rastejamento, pela saltação de partículas com as gotas de chuva “*splash*” e pela distribuição das partículas. Já Kinell (2008) acredita no destacamento e transporte de partículas na geração das erosões, são eles: destacamento pelo impacto da gota da chuva e transporte por fluxo induzido por esta; destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo natural; destacamento e transporte por fluxo natural de escoamento, portanto, quando a água flui pela superfície do solo, as gotas de chuva penetram no fluxo, separando as partículas do solo, e os impactos subsequentes das gotas repetidamente levantam as partículas para dentro do fluxo, movendo-as ainda mais rio abaixo a cada impacto e, a partir desse ponto, o transporte de sedimentos ocorre juntamente com um processo de seleção do tamanho das partículas do solo, e a distribuição do tamanho das partículas do sedimento erodido pode fornecer informações fundamentais sobre os processos erosivos.

Segundo Guerra e Cunha (1996), a água da chuva quando atinge o solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo, ou abastecendo o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver

essa água, ela se move em superfície ou subsuperfície provocando erosão através do escoamento das águas. A água do escoamento superficial é o agente de transporte mais importante quando a erosão é originada pela água da chuva. Portanto, as gotas de chuva são responsáveis por superar os efeitos de aderência que retêm as partículas na superfície do solo, além de contribuir para o transporte das partículas deslocadas para longe do ponto de impacto. Quando a água flui pela superfície do solo, as gotas de chuva penetram no fluxo, separando as partículas do solo, e os impactos subsequentes das gotas repetidamente levantam as partículas para dentro do fluxo, movendo-as ainda mais rio abaixo a cada impacto. A partir desse ponto, o transporte de sedimentos ocorre juntamente com um processo de seleção do tamanho das partículas do solo, e a distribuição do tamanho das partículas do sedimento erodido pode fornecer informações fundamentais sobre os processos erosivos.

4.2.2 Como o modelo de ocupação afeta no processo natural de erosão

Como apontado anteriormente, os processos erosivos ocorrem de forma natural, mas se intensificam mais com as ações antrópicas. As atividades aceleradas, como a agricultura, a mineração, a construção civil e a indústria, são as principais causadoras desses efeitos. O desmatamento para a expansão agrícola, a exploração intensiva de recursos naturais e a emissão de gases de efeito estufa pela indústria e pelos meios de transporte são alguns exemplos dessas atividades que afetaram diretamente o meio ambiente (Silva, 2016).

Diante do exposto sobre os processos de erosão, é crucial ter a capacidade de identificação para compreender que diferentes tipos de solos apresentam diferentes níveis de agregação entre suas partículas. O processo erosivo ocorre quando o potencial de transporte da água e/ou do vento ultrapassa o limite de agregação dos sedimentos do solo, resultando na sua mobilização e transporte (Souza, 2015).

Dessa forma, a diferença no tipo e quantidade de erosão dos solos varia a partir de suas propriedades, sejam elas teor de areia, silte e argila, teor de matéria orgânica, densidade aparente, porosidade e estabilidade de agregados, dentre outras (Silva, 2016).

Para Tricart (1977), a retirada da cobertura vegetal provoca alterações no equilíbrio do ambiente, essas alterações aceleram os processos erosivos aumentando a temperatura local, reduzindo os cursos d'água entre outras mudanças. Segundo Guerra (2005), o enfraquecimento do solo afeta tanto as terras agrícolas como as áreas com vegetação natural e pode ser considerado como um dos mais importantes problemas ambientais dos nossos dias.

Segundo Silva (2003) e Guerra (2005), os prejuízos em relação a perda de solo podem provocar: redução da qualidade da água pela presença de sedimentos e suas associações com agrotóxicos e nutrientes; assoreamento de córregos e lagos; enchentes; e inundações causadas por alterações no regime fluvial.

A cobertura vegetal tem papel relevante por atenuar os impactos das gotas de chuva e diminuir a velocidade do escoamento superficial. Sua eficiência em reduzir as perdas de solo por erosão pode ser atribuída principalmente à proteção da superfície do solo, impedindo o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação do solo (Frota, 2012).

O controle da erosão é uma questão importante para a preservação dos solos e do meio ambiente. Existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para reduzir ou mesmo evitar a erosão, dependendo das condições específicas de cada local, pois a mesma é capaz de transformar as paisagens e o ambiente através do desgaste material de uma determinada região (Guerra, 2017).

Guerra (2017), menciona que é importante adotar práticas de conservação do solo, como o uso de técnicas de plantio direto, terraceamento e sistemas agroflorestais, que visam reduzir a influência hídrica e preservar a fertilidade do solo. Assim como a relevância da preservação das florestas, especialmente em áreas de risco como vertentes inclinadas ou com níveis de precipitação elevados, está fundamentada na proteção do solo contra a erosão.

4.3 O USO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA MODELAGEM AMBIENTAL E SUA APLICAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A Geomorfologia é uma área da Geografia que estuda as formas da superfície terrestre e os processos que as moldam. Ela é responsável por analisar e interpretar as paisagens naturais, bem como as suas relações com o ambiente e com a sociedade, se preocupa em entender a dinâmica dos processos que atuam na

superfície terrestre, tais como a ação das águas, do vento, das geleiras e dos processos tectônicos, e como esses processos são responsáveis pela formação das paisagens. Assim, a geomorfologia estuda as características das formas do relevo, como montanhas, planaltos, planícies, vales, entre outras, e as suas inter-relações (Valadão *et al.*, 2023).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas computacionais capazes de integrar dados de diferentes fontes e formatos, permitindo a análise espacial de informações. Na área ambiental, os SIG têm sido utilizados para modelagem e simulação de fenômenos naturais, como o comportamento hidrológico, mapeamento de áreas degradadas entre outros. Além disso, a aplicação dos SIG no planejamento ambiental tem se mostrado importante na avaliação de impactos ambientais, na definição de áreas de preservação e na gestão de recursos naturais (Castro *et al.*, 2014).

As técnicas e ferramentas utilizadas na Geomorfologia variam de acordo com o objetivo do estudo. A Geomorfologia é aplicada em diversas áreas do conhecimento, como na Geologia, na Biologia, na Engenharia Civil, na Arqueologia, na Climatologia, entre outras. A partir das informações obtidas pela Geomorfologia, é possível planejar e gerenciar áreas naturais e urbanas, bem como prever e minimizar os impactos de eventos naturais, como deslizamentos de terra e inundações (Santos, 2017).

As abordagens técnicas geomorfológicas são um conjunto de metodologias e técnicas utilizadas para o estudo da Geomorfologia, que é a ciência que estuda as formas de relevo da superfície terrestre, bem como os processos e as forças que as moldam. Essas técnicas são amplamente utilizadas em estudos ambientais, geotécnicos, de planejamento territorial, de recursos hídricos, entre outros (Robaina, 2019).

Entre as principais abordagens técnicas geomorfológicas, destacam-se: a análise morfométrica, que é um estudo das formas de relevo por meio de análises quantitativas de dados topográficos, como altitude, declividade, curvatura etc.; o mapeamento geomorfológico referente à identificação e classificação das formas de relevo com base em suas características morfológicas; o estudo de processos geomorfológicos, o qual realiza a análise dos processos que moldam as formas de relevo, como erosão, transporte e deposição de sedimentos, movimentos de massa, entre outros (Gerente, 2018).

Além destes, Gerente (2018), enfatiza-se a análise estratigráfica, que se refere ao estudo da estrutura e composição dos materiais geológicos que compõem as formas de relevo, e o sensoriamento remoto, remetente ao uso de imagens obtidas por satélites, drones e outras tecnologias para a análise das formas de relevo, permitindo a identificação de padrões espaciais, a detecção de mudanças e a elaboração de mapas temáticos.

De acordo com Cristofolletti (2001), em várias áreas da Geografia, destaca-se a abordagem da modelagem como uma ferramenta essencial de análise. Através da modelagem, é possível simplificar e quantificar a representação de fenômenos geográficos complexos. Essa abordagem permite a análise e previsão de processos físicos, sociais e ambientais, além de possibilitar a exploração de diferentes cenários e hipóteses.

Na Geomorfologia, por exemplo, a modelagem se mostra uma ferramenta valiosa para simular processos como erosão, transporte e deposição de sedimentos, assim como para compreender a evolução da paisagem ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2015).

As abordagens técnicas geomorfológicas são um conjunto de ferramentas e metodologias que permitem o estudo e a análise das formas de relevo e dos processos geomorfológicos, contribuindo para a compreensão da dinâmica da superfície terrestre e a gestão ambiental. Dessa forma, a Geomorfologia é uma área fundamental para o entendimento da dinâmica da superfície terrestre e para o planejamento e gestão do território, permitindo a análise e o monitoramento das mudanças ambientais e seus impactos na sociedade (Dantas, 2016).

Para a realização desta pesquisa foi aplicada a metodologia de fragilidade ambiental de Ross (1994) e a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) para análise dos processos erosivos, metodologias que veremos nos próximos subitens.

4.3.1 Equação Universal de perda de solos (EUPS)

A Equação Universal de Perda de Solos é uma das principais referências em estudos preditivos relacionados à erosão laminar e tem sido usada para auxiliar no planejamento e conservação das terras. A equação é:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Em que “A” refere-se à perda de solos anual por hectare e é obtido pela multiplicação das seguintes variáveis:

Fator de erosividade (R). Segundo Carvalho (1994), o fator de erosividade da chuva (R) representa a habilidade da chuva em erodir uma área sem proteção, sendo também conhecido como “índice de Wischmeier”, que representa toda ação erosiva gerada pelo impacto, salpico e a turbulência combinada com a enxurrada que transporta o sedimento desprendido.

Geralmente a erosividade é determinada pelo cálculo do EI_{30} , que, segundo Carvalho (1994), é o produto da energia cinética da chuva (E_c) pela sua máxima intensidade em 30 minutos (I_{30}).

Os valores de intensidade máxima em trinta minutos são computados através dos diagramas de pluviógrafos. O índice de erosão EI_{30} é obtido pela equação:

$$EI_{30} = E_c \times I_{30}$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosão (MJ/ha x mm/h)

E_c = energia cinética da chuva

I_{30} = intensidade máxima da chuva em 30 minutos (mm/h)

Fator erodibilidade (K). A erodibilidade do solo (K) é a relação entre a intensidade de erosão e a erosividade da chuva para um solo específico mantido continuamente sem cobertura. Representa a suscetibilidade do solo à erosão, da mesma forma que também representa a resistência à erosão (Carvalho, 1994).

Existem três modos distintos de se determinar a erodibilidade do solo. O primeiro consiste em determinar o fator K em condições de campo, sob chuva natural. O segundo é semelhante ao primeiro, contudo se fundamenta na quantificação do fator K em razão das perdas do solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada. Esses dois métodos são considerados padrão e refletem a erodibilidade do solo como é preconizada na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), e são denominados de determinação direta. O terceiro método é fundamentado em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou

as relações desses correlacionados com o fator K obtido pelos métodos padrão, e é denominado de determinação indireta.

Diversos autores buscaram definir a erodibilidade de diversas localidades do Brasil e em diversas escalas.

Fatores Comprimento do Declive (L) e Grau do Declive (S). O fator topografia do relevo, representado pela declividade e comprimento da vertente, possui fundamental influência sobre a erosão. O tamanho e a quantidade de material carregado pela erosão hídrica estão sujeitos à velocidade com que escoam, e essa velocidade é um produto do comprimento da vertente e de sua declividade (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

O comprimento da vertente é uma característica topográfica que possui muita influência nas perdas de solo por erosão. Embora as perdas de água diminuam com o comprimento da rampa devido ao maior caminho percorrido pelo escoamento superficial e, conseqüentemente, mais possibilidade de infiltração, a velocidade aumenta em razão do movimento uniformemente acelerado. Esta, por sua vez, aumenta a competência de transporte de sedimentos, de forma a aumentar também a perda de solo (Bertoni, 1959).

Da mesma forma, a declividade do terreno influencia a quantidade de perda de solo por erosão, pois dela dependem o volume e a velocidade das enxurradas. Quanto mais declivoso o terreno, maior é a velocidade do escoamento, conseqüentemente, menor é a taxa de infiltração, aumentando, assim, o escoamento superficial (Bertoni, 1959). Respectivamente representados por L e S, os dois fatores foram analisados separadamente na construção da equação universal de perda de solo. Porém, na aplicação prática da equação, os dois fatores foram considerados como um único fator, o fator topográfico, ou Fator LS (Wischmeier; Smith, 1978).

Fator Cobertura e Manejo (C) e Prática Conservacionista (P). O fator de uso e manejo do solo (C) são a relação entre as perdas de solo de um terreno com um determinado tipo de cobertura e as perdas correspondentes de um terreno continuamente descoberto, assim, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado (Silva; Schulz; Camargo, 2003).

Já o fator prático conservacionista (P) é a relação entre a intensidade esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas de quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (Bertoni; Lombardi Neto,

2012). A prática conservacionista significa o tipo de tecnologia adotada no terreno como, por exemplo, terraceamento ou plantio em nível.

Bertoni e Lombardi Neto (2012) trabalham os dois fatores de maneira separada: o fator C apenas como “uso e manejo” e o fator P como “prática conservacionista”. Mas, para Wischmeier e Smith (1978), os fatores C e P estão relacionados, por isso não devem ser analisados separadamente.

Ao longo da pesquisa, utiliza-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), com intuito de analisar os processos erosivos laminares e como a perda de solo prejudica a fertilidade e a produtividade do solo dessa área de estudo.

4.3.2 Conceito de unidades ecodinâmicas e o modelo de fragilidade ambiental

As unidades ecodinâmicas têm como princípio básico a Teoria Geral dos Sistemas, isto é, a ideia de que todos os componentes presentes na paisagem sofrem dependência mútua e são imprevisíveis ao longo do tempo e do espaço. A estabilidade de um sistema parte desse pressuposto, elementos estáveis geram unidades ecodinâmicas estáveis.

Segundo Tricart (1977), o conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistemas, baseado no instrumento lógico de sistemas, que enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente.

O ecossistema proposto por Tansley (1935) tem como ideia básica determinar que um sistema ecológico funciona mediante fluxos de matéria e energia, assim como funciona em equilíbrio quando esses fluxos são naturais e as estruturas bióticas e abióticas estão em pleno acordo com a paisagem dita natural.

A utilização do instrumento lógico dos sistemas na análise ambiental permite identificar as modificações indiretas desencadeadas por uma intervenção. Essas intervenções afetam a cobertura vegetal que repercute na: energia da radiação que alcança o solo, queda de detritos vegetais na superfície do solo, na interceptação das precipitações e na proteção do solo contra ações eólicas e pluviais.

A partir disso, a Teoria Geral dos Sistemas é entendida como uma teoria não apenas para a ciência Geográfica, mas para toda a ciência que até então estava fragmentada e tinha um raciocínio cartesiano, sobretudo nas questões ambientais. A necessidade de se trabalhar de forma sistêmica e integrada trouxe

consigo muitas teorias na década de 1950 e 1960, uma delas, mais precisamente em 1977, é a Teoria das Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977).

Antes de compreender o que é a Ecodinâmica, é necessário entender que unidade parte do pressuposto de unidade físico-territorial, uma unidade de paisagem, unidade geossistêmica, que tem sua base em Sotchava (1978), que determinou que seus componentes individuais da natureza se encontram numa relação sistêmica uns com os outros e, com uma determinada integridade, interatuam com a esfera cósmica e com a sociedade humana.

Logicamente, as unidades possuem uma dinâmica própria, única, o que lhes confere uma singularidade. Encontrar essas unidades e determinar sua estabilidade é papel primordial para planejamentos e gestão ambiental e territorial. As unidades ecodinâmicas de Tricart (1977) partem justamente dessa ótica, que depois servirá de base para muitas outras pesquisas brasileiras, como Ross (1994), Amaral e Ross (2009) e Gouveia e Ross (2019).

Ainda segundo Tricart (1977), existem três tipos de meios ecodinâmicos: meios estáveis, meios intergrades e os fortemente instáveis. Os meios ecodinâmicos estáveis se encontram em regiões cujas condições são: cobertura vegetal fechada; dissecação moderada; ausência de manifestações vulcânicas e meios que não foram afetados por oscilações paleoclimáticas recentes. As relações complexas se estabelecem entre essas condições com mecanismos de compensação e autorregulação. Nestas condições, prevalecem os processos pedogenéticos. Para manter a variedade de meios estáveis, deve-se manter uma cobertura vegetal densa com efeitos equivalentes ao da cobertura vegetal natural (Tricart,1977).

A exploração dos recursos naturais apresenta como consequência modificações do sistema morfogenético. Os meios intergrades nada mais são do que a passagem entre os meios estáveis e os meios instáveis. O que caracteriza esses meios é a interferência que a morfogênese e pedogênese exercem de maneira concorrente no mesmo espaço em que estão inseridas. Os meios intergrades são delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, transformando-se em meios instáveis (Tricart,1977).

Nos meios fortemente instáveis, a morfogênese é o elemento predominante e é o fator determinante do sistema natural ao qual os outros elementos estão subordinados. A geodinâmica interna intervém em muitos casos, principalmente no

vulcanismo, que tem efeitos mais imediatos do que os das deformações tectônicas. A cobertura vegetal intervém indiretamente no clima (Tricart,1977).

As modalidades morfodinâmicas que levam a situações como, por exemplo, o transporte de sedimentos, são variadas e nos oferecem a possibilidade de dividir os meios fortemente instáveis. Os fenômenos catastróficos destroem os solos preexistentes colocando em evidência materiais virgens de toda pedogênese. Quando os fenômenos catastróficos se repetem frequentemente em uma região engendram um mosaico heterocrônico. Em seguida, passa-se gradualmente aos fenômenos menos consideráveis, porém de maior frequência, como os ravinamentos generalizados, o escoamento superficial difuso, que elimina os detritos mobilizáveis desde que são formados, a rocha sã, que é mantida e permanece exposta (Tricart,1977).

São muitos os autores que derivam dessa linha, Ross (1994) utiliza e aperfeiçoa esses conceitos afirmando que as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente são aquelas que através da interferência humana tiveram seu ambiente modificado e as Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou de Instabilidade Potencial são aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e sem interferência humana.

Em sua proposta para a análise empírica da Fragilidade Ambiental, o autor propõe que ambas as unidades sejam classificadas em diferentes graus desde o mais fraco ao mais forte. Ele indica que a análise da fragilidade ambiental é resultado da análise integrada de características do relevo (gênese, morfologia, morfometria e morfodinâmica), tipos de solo, litologia, cobertura vegetal, uso da terra e pluviometria. Segundo Ross (1995, p.318): “A obtenção desses dados requer levantamentos de campo e serviços de gabinete, a partir dos quais geram-se produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia e uso da terra/vegetação”.

Ross (1994) sugere que para escalas médias e pequenas (1:50.000, 1:100.000, 1:250.000 ou 1:500.000) seja utilizada como base de informação para a variável relevo os padrões de formas e índices de dissecação do relevo. Já para escalas de detalhe (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 ou 1:2.000), deve-se utilizar as formas de vertentes e as classes de declividades.

Posteriormente, o próprio autor, em alguns outros trabalhos, indica que o modelo pode apresentar falhas, e que não é a simples replicação da metodologia

que vai garantir um produto adequado e confiável para o fim que se propõe. As características da área de estudo são fundamentais nesse processo, bem como o entendimento de que, ao correlacionar os produtos propondo que todos tenham um mesmo peso sobre a cartografia final, pode resultar em planícies de baixa fragilidade, declives acentuados que, devido à vegetação florestal, pode ter baixa fragilidade, o que não reflete a real estabilidade dessas unidades.

Portanto, propor metodologias e/ou adaptá-las é fundamental nesse processo. Dar ênfase em determinados elementos, como fez Gouveia e Ross (2019), é importante para propiciar novas formas de se trabalhar e proporcionar produtos aplicáveis e que sejam passíveis de serem utilizados para fins de planejamento ambiental.

Ao longo da pesquisa, utiliza-se como metodologia o modelo de fragilidade ambiental de Ross (1994) e os índices de dissecação do Relevo como variável morfométrica.

Ao longo da pesquisa, utiliza-se como metodologia o modelo de fragilidade ambiental de Ross (1994). Nota-se que o objetivo desse modelo é o de diagnosticar uma determinada área e contribuir para o ordenamento territorial a fim de evitar os problemas ocasionados pela ocupação desordenada e/ou do uso indiscriminado de recursos naturais.

Através do uso dessa metodologia, também é possível identificar quais as variáveis que podem ter contribuído mais significativamente para a ocorrência de erosões na UGRHI Tietê Batalha.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS PARA O MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

Para realização dos mapeamentos contou-se com dados disponibilizados gratuitamente em diversas fontes e órgãos federais e estaduais, com diferentes escalas e níveis de detalhe, mas que, para um melhor resultado, adotou-se os dados estaduais, como base para a presente pesquisa. Para o componente geológico, adotou-se a base do IPT (1981) disponibilizado pela CBH-AP (1997) em escala de 1:500.000, em que foram identificadas as classes: Formação Vale do Rio do Peixe; Terraços Holocênicos; Formação Serra Geral; Formação São José do Rio Preto; Formação Marília; Formação Araçatuba; e Corpo d'água continental.

Na Geomorfologia, adotou-se o Mapa Geomorfológico em escala 1:500.000 elaborado por Ross e Moroz (1997). As unidades morfoesculturais encontradas foram: Planalto Centro Ocidental; Planalto Residual de São Carlos; e Planalto Residual de Marília.

O mapa de solos foi realizado embasado em Rossi (2017) e Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2013). Os mapeamentos em escala de 1:250.000 foram primordiais para definição das classes na área de estudo: Área Urbana; Argissolos Vermelho-Amarelos; Argissolos Vermelhos; Gleissolos Háplicos; Latossolos Vermelho-Amarelos; Latossolos Vermelhos; Neossolos Litólicos; e Rios, represas e lagoas, como pode ser visto no Quadro 3, temos os níveis de fragilidade atribuídos a cada tipo de solo.

Quadro 3 - Tipos de solos e níveis de fragilidade

Tipos de solos	Níveis de fragilidade
Latossolos Vermelhos-Amarelos	3- Média
Latossolos Vermelhos	3- Média
Argissolos Vermelhos	4- Alta
Argissolos Vermelhos-Amarelos	5-Muito Alta
Neossolos Litólicos	5-Muito Alta
Gleissolos Háplicos	6 - Muito Alta (sujeito à Inundações)

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Rossi (2017).

Já para a declividade, adotou-se o modelo proposto por Ross (1994), que consiste na quantificação por classes variando entre: até 6% - Muito baixo; 6-12% -

Baixo; 12-20% - Médio; 20-30% - Alto; e Acima de 30% - Muito Alto. Tais classes obedeceram a critérios estabelecidos por Ross (1994).

O mapa de Uso e Cobertura da Terra (escala 1:250.000) foi elaborado com base no Mapbiomas do ano de 2020, da coleção 7. O resultado desse mapeamento permitiu identificar dezesseis classes. Conforme o Quadro 4, temos os níveis de fragilidade atribuídos a cada tipo de uso e cobertura da terra. Esse mapeamento definiu as classes de: Formação Florestal; Formação Savânica, Silvicultura; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Pastagem; Cana-de-açúcar; Área Urbanizada; Solo Exposto; Soja; Outras Lavouras Temporárias; Café; Citrus; e Outras Lavouras Temporárias.

Quadro 4 - Uso e cobertura da terra e níveis de fragilidade

Classes de uso	Níveis de fragilidade
Formação Florestal	1- Muito fraca
Formação Savânica	2- Fraca
Formação Campestre	2 – Fraca
Silvicultura	2 – Fraca
Área Urbanizada	3 – Média
Café	3 – Média
Citrus	3 – Média
Outras Lavouras Perenes	3 – Média
Pastagem	4 – Alta
Cana	4 – Alta
Mosaico de Agricultura e Pastagem	4 – Alta
Soja	4 – Alta
Outras Lavouras Temporárias	4 – Alta
Outras Áreas não vegetada	5 - Muito Alta
Campo Alagado e Área Pantanosa	6 - Muito Alta (sujeito à Inundações)

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Mapbiomas (2020).

Para a aplicação da metodologia de Fragilidade Ambiental de Ross (1994), a princípio foi preciso realizar o levantamento bibliográfico através da leitura de livros, artigos científicos, dissertações e teses a respeito do tema pesquisado.

Também foi realizada uma pesquisa para a obtenção de materiais cartográficos da área de estudo. Para elaborar os produtos cartográficos intermediários, utilizou-se o programa ArcGis 10.3¹, e os dados SRTM (*Shuttle*

¹ Licença disponível na FCT-UNESP.

Radar Topography Mission) disponibilizados pelo INPE Projeto TOPODATA (Banco de dados geomorfométricos do Brasil) > <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

Primeiramente, foram baixados os arquivos correspondentes a UGRHI16 Tietê Batalha. Logo após baixar esses arquivos, com o uso do SIG – ArcGis efetuou-se o mosaico através dos seguintes passos: Arctoolbox Window > Data management tools> raster> raster dataset> mosaic to new raster e logo depois transformou-se o raster de 32 bits para 16 bits.

O segundo passo foi extrair a área correspondente a UGRHI16 com a utilização da ferramenta *extract by mask*, com a finalidade de recortar o modelo a partir do shape da área da UGRHI16 obtido no INPE, vinculado ao IDEA-SP (Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo). Com isso, obteve-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo.

O terceiro passo foi tratar a imagem utilizando uma ferramenta para preencher ou cortar os pixels através dos seguintes passos: Spatial Analyst Tools> Hidrology> Fill. O Fill, ao preencher a superfície do raster remove pequenas imperfeições inerentes ao processo de aquisição e uso do Modelo Digital de Elevação.

O próximo passo foi elaborar o mapa hipsométrico utilizando o MDE da área de estudo através dos seguintes passos: layer > propriedades> symbology> classified> color ramp. Esse módulo consiste em definir classes que melhor expressem as características do relevo local.

Para a elaboração do mapa clinográfico referente a declividade, utilizou-se o MDE da área de estudo através dos seguintes passos: Arctoolbox> 3D analyst tools> raster surface> slope, em que se definiu a declividade em porcentagem e as classes foram definidas segundo Ross (1994).

Para gerar o mapa de fragilidade do relevo, foi preciso inserir o mapa geomorfológico (Ross; Moroz, 1997) e atribuir pesos aos Índices de Dissecação do Relevo de acordo com sua fragilidade.

Para obter o Mapa de Fragilidade Potencial, realizou-se a análise ponderada entre o Mapa de Fragilidade do Relevo e o Mapa Pedológico (Rossi, 2017), acrescido dos níveis de fragilidade de cada tipo de solo. Nesse procedimento, considerou-se pesos iguais aos mapas.

O último mapa foi o de Fragilidade Emergente ou Mapa de Fragilidade Ambiental. Para gerar este mapa, foi preciso inserir os mapas de Fragilidade

Potencial e o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020 (Mapbiomas, 2020), com os respectivos níveis de fragilidade.

Conforme se observa, para a elaboração de um mapa de fragilidade ambiental, é preciso inicialmente elaborar produtos cartográficos temáticos intermediários referentes ao relevo, aos solos e ao uso e cobertura da terra. Posteriormente, para cada uma das classes identificadas nos mapas temáticos são atribuídos níveis de fragilidade que variam entre Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte, de acordo com as orientações de Ross (1994).

Outro produto cartográfico elaborado foi o mapa dos Processos erosivos lineares da UGRHI16. Para elaboração desse mapa, foi feito o recorte da UGRHI16 e foram inseridos os dados do IPT (2012) com as erosões lineares da UGRHI16.

5.2 ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS PARA O MAPA DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR, MAPA DE SEDIMENTOS EXPORTADOS E MAPA DE SEDIMENTOS RETIDOS

Para a aplicação da EUPS, foi utilizado o módulo Sediment Delivery Ratio (SDR) da ferramenta computacional InVEST® (Avaliação Integrada de Serviços Ambientais e Compensações). Os dados referentes à erosividade (fator R) foram obtidos a partir de dados de postos pluviométricos.

Esse fator R é atribuído um índice de Erosividade de acordo com a pluviometria das estações utilizadas, esses dados foram obtidos no NetErosividade a partir das coordenadas das estações (Tabela 1). A partir dessas estações, realiza-se a interpolação na ferramenta Inverse Distance Weighted (IDW) do ArcGis, que serve para interpolar valores e criar um raster (Fator R).

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas

Ponto	Localidade	Latitude	Longitude	Ponto	Localidade	Latitude	Longitude	Ponto	Localidade	Latitude	Longitude
1	BADY BASSIT	20°55'00"	49°27'00"	24	LINS	21°42'15"	49°41'22"	47	BORBOREMA	21°37'00"	49°04'00"
2	ITAPOLIS	21°39'00"	48°46'00"	25	CAFELANDIA	21°44'00"	49°39'00"	48	SALES	21°21'00"	49°30'00"
3	TAQUARITINGA	21°23'00"	48°30'00"	26	CAFELANDIA	21°48'45"	49°36'33"	49	SABINO	21°27'00"	49°34'00"
4	MATAO	21°36'00"	48°21'00"	27	GUARANTA	21°52'00"	49°38'00"	50	IRAPUA	21°17'00"	49°25'00"
5	TAQUARITINGA	21°25'00"	48°30'00"	28	CAFELANDIA	21°43'00"	49°31'00"	51	NOVO HORIZONTE	21°32'00"	49°09'00"
6	MATAO	21°39'00"	48°26'00"	29	CAFELANDIA	21°40'00"	49°26'00"	52	NOVO HORIZONTE	21°25'00"	49°19'00"
7	BORBOREMA	21°42'00"	49°02'00"	30	IBIRA	21°05'00"	49°14'00"	53	CAFELANDIA	21°35'00"	49°26'00"
8	TAQUARITINGA	21°27'00"	48°28'00"	31	NOVA ALIANCA	21°05'00"	49°33'00"	54	PONGAI	21°44'00"	49°21'00"
9	ITAPOLIS	21°39'03"	48°52'12"	32	NOVA ALIANCA	21°01'00"	49°30'00"	55	BALBINOS	21°54'00"	49°22'00"
10	ITAPOLIS	21°35'00"	48°49'00"	33	MENDONCA	21°11'02"	49°34'58"	56	NOVO HORIZONTE	21°26'00"	49°06'00"
11	SANTA ADELIA	21°20'00"	48°51'00"	34	NOVO HORIZONTE	21°28'00"	49°13'00"	57	IBIRA	21°07'11"	49°10'49"
12	ITAPOLIS	21°35'00"	48°47'00"	35	IRAPUA	21°17'00"	49°24'00"	58	PIRAJUI	21°59'00"	49°27'00"
13	TAQUARITINGA	21°28'00"	48°37'00"	36	ITAJOBÍ	21°18'40"	49°03'26"	59	PIRATININGA	22°24'00"	49°08'00"
14	MATAO	21°32'00"	48°31'00"	37	URUPES	21°12'22"	49°17'31"	60	PIRATININGA	22°25'00"	49°08'00"
15	IBITINGA	21°45'00"	49°00'00"	38	REGINOPOLIS	21°53'17"	49°14'03"	61	DUARTINA	22°20'00"	49°22'00"
16	TAQUARITINGA	21°27'00"	48°33'00"	39	GUARANTA	21°53'18"	49°31'39"	62	PIRATININGA	22°23'00"	49°18'00"
17	BORBOREMA	21°34'58"	48°58'18"	40	NOVO HORIZONTE	21°27' 00"	49°22' 00"	63	BAURU	22°17'46"	49°09'07"
18	CATANDUVA	21°13'00"	49°02'00"	41	BORBOREMA	21°42'00"	49°08'00"	64	AVAI	22°10'00"	49°20'00"
19	LINS	21°40'00"	49°45'00"	42	CAFELANDIA	21°48'00"	49°36'00"		PRESIDENTE		
20	GUAICARA	21°35'54"	49°48'19"	43	LINS	21°42'00"	49°41'00"	65	ALVES	22°06'00"	49°26'00"
21	LINS	21°32'00"	49°43'00"	44	POTIRENDABA	21°02'37"	49°22'29"	66	BAURU	22°17'00"	49°07'00"
22	LINS	21°42'00"	49°43'00"	45	CAFELANDIA	21°33'00"	49°25'00"	67	BAURU	22°07'00"	49°12'00"
23	LINS	21°40'00"	49°45'00"	46	NOVO HORIZONTE	21°28'00"	49°13'00"	68	AVAI	22°14'00"	49°26'00"

Fonte: Elaborado pela
autora (2023).

Para o fator K (erodibilidade), foi utilizado o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Rossi, 2017) e para cada tipo de solo foi atribuído um valor K (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de K atribuídos para as classes de solo,

Classes	Valores de K (t.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)		
	média	D.P. *	n **
Argissolos	0,0425	0,01990	41
Cambissolos	0,0508	0,0182	7
Chernossolos	0,0309	0,0104	4
Espodossolos	0,0592	0,0248	4
Gleissolos	0,0361	0,0279	6
Latossolos	0,0162	0,0043	32
Neossolos	0,0351	0,0127	26
Nitossolos	0,0237	0,0091	7
Organossolos	0,0610	0,0124	3
Planossolos	0,0097	0,0134	4
Rios			
Urbanização			
Total			134

* D.P.= Desvio Padrão ** n = n° de valores

Fonte: xxx.

Para o fator topográfico (LS), foi utilizado o MDE, já mencionado no item anterior.

Já para os fatores C e P, foram atribuídos ao mapa de uso e cobertura da terra (MapBiomass, 2020) valores já consagrados na literatura.

Como resultado, foram obtidos mapas de Perdas de Solo, Sedimentos Exportados e Sedimentos Retidos. Tais produtos permitiram identificar áreas mais críticas em termos de processos erosivos laminares e aporte de sedimentos nos cursos d'água.

5.3 SÍNTESE DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL

Como produto cartográfico de síntese, foi elaborado o Mapa de Susceptibilidade à erosão pluvial, resultante da sobreposição ponderada do Mapa de Perdas de Solo (erosão laminar) e Mapa de Fragilidade Ambiental (erosão linear). Acredita-se que esse produto irá subsidiar o Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê/Batalha em ações de planejamento ambiental e programas de recuperação ambiental.

Portanto, de acordo com os objetivos específicos, foi identificada a fragilidade ambiental e a perda de solo da área de estudo e foram identificados espacialmente níveis de susceptibilidade à erosão pluvial para subsidiar o Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê/Batalha em ações de planejamento ambiental e programas de recuperação ambiental com a confecção do mapa de Susceptibilidade à erosão pluvial (resultante da sobreposição ponderada do Mapa de Perdas de Solo (erosão laminar) e Mapa de Fragilidade Ambiental (erosão linear)).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, apresentam-se os mapas elaborados na pesquisa.

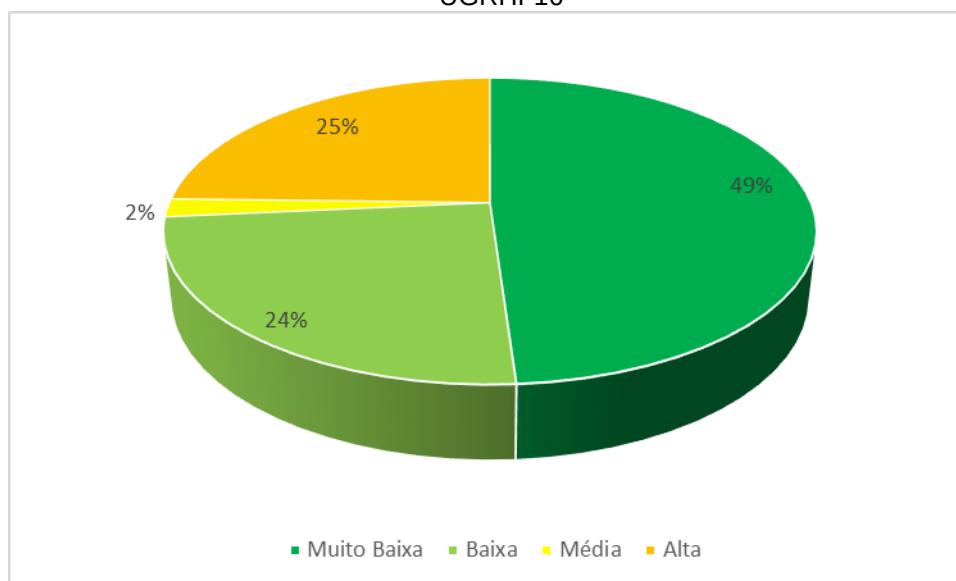
6.1 DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA UGRHI 16

A metodologia de avaliação de fragilidade ambiental de Ross (1994) se apresenta como a ideia de que a natureza tem a finalidade essencial entre os seus componentes e a partir dos dados de relevo, solo, geologia, clima, uso e cobertura da terra é possível avaliar as fragilidades potencial e emergente.

A Figura 11 corresponde ao mapa de fragilidade do relevo da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16. O Gráfico 6 representa as predominâncias das classes 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). Observa-se a predominância da classe de fragilidade muito baixa e Baixa.

Esses resultados conforme Ross (1994), são essenciais para o planejamento ambiental, pois permitem identificar áreas que necessitam de maior atenção e manejo adequado para prevenir problemas erosivos e outras formas de degradação do solo. Essa metodologia fornece uma base sólida para a tomada de decisões em termos de conservação e uso sustentável dos recursos naturais da bacia hidrográfica.

Gráfico 6 - Distribuição das classes de fragilidade do relevo da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



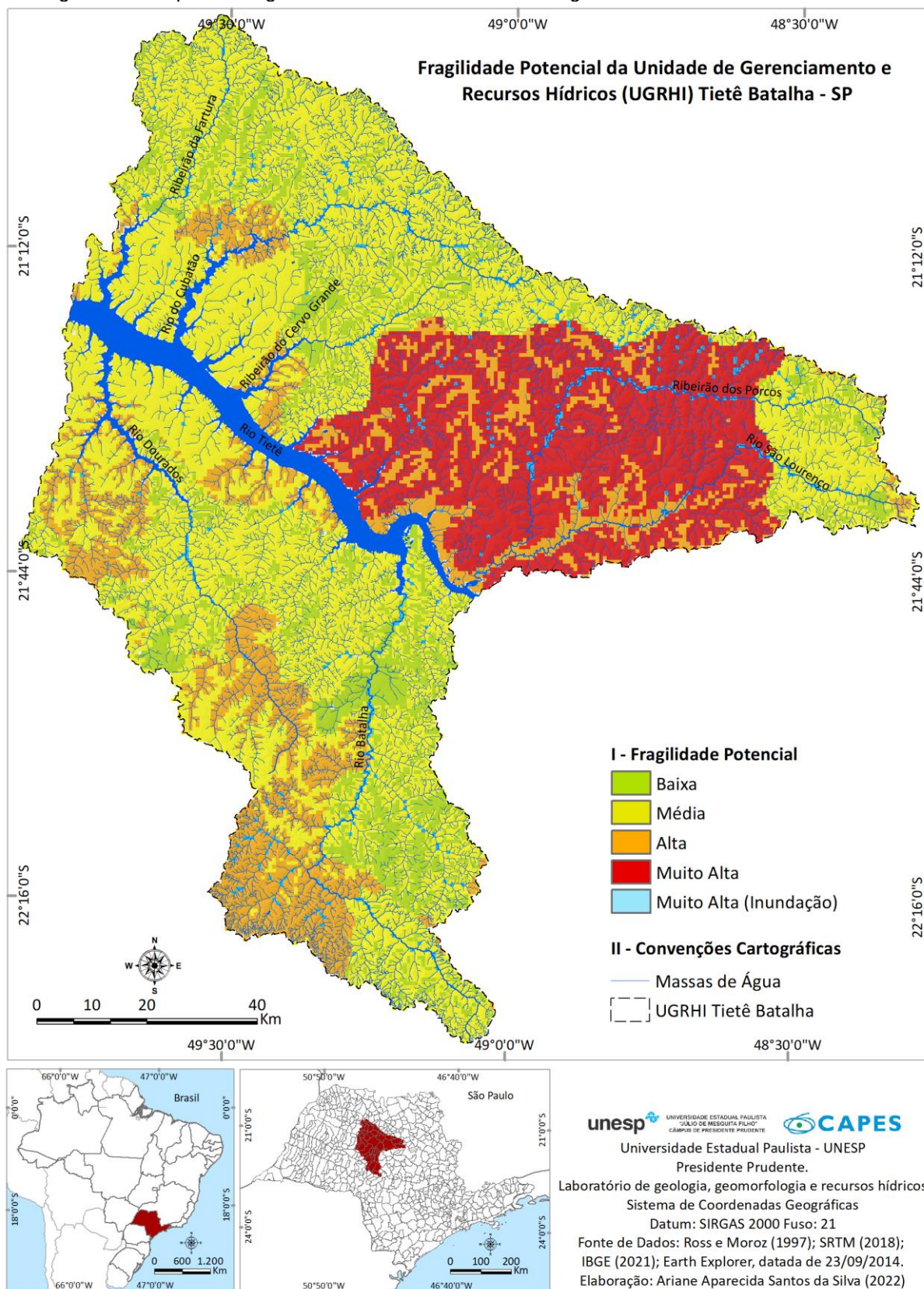
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Ao correlacionar o Mapa de Fragilidade do Relevo com os níveis de fragilidade de cada um dos tipos de solos obtém-se o Mapa de Fragilidade Potencial. Esse produto cartográfico identifica na área de estudo níveis de fragilidade natural aos processos lineares.

A Figura 12 apresenta o Mapa de Fragilidade Potencial e o Gráfico 7 representa o percentual de cada nível de fragilidade na área de estudo. Conforme se observa, prevalecem na área níveis médios de fragilidade potencial. Ou seja, em função das características do relevo e dos solos, a área apresenta predominantemente susceptibilidade média aos processos erosivos lineares.

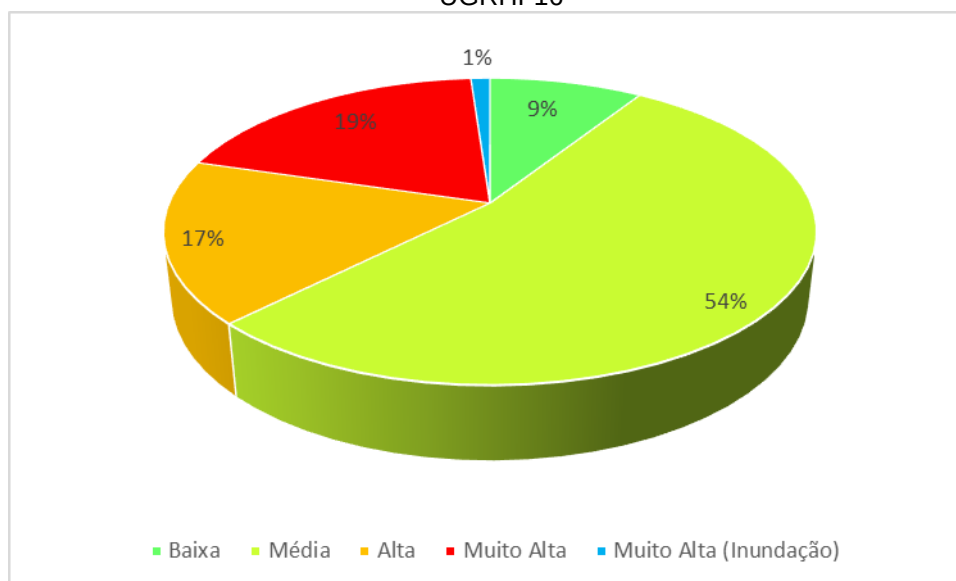
É fundamental implementar práticas de uso da terra e técnicas de manejo que reduzam a vulnerabilidade do solo à erosão. Isso pode incluir a adoção de práticas de conservação do solo, como o plantio em curvas de nível, terraceamento e o uso de cobertura vegetal adequada. Além disso, estratégias de monitoramento contínuo e educação ambiental são essenciais para promover a sustentabilidade dos recursos naturais da bacia hidrográfica e garantir a saúde dos ecossistemas locais (Silva, 2017).

Figura 12 - Mapa de Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Gráfico 7 - Distribuição dos níveis de Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Áreas classificadas como Muito Alta (sujeito à Inundações) são áreas de planícies de inundação. Embora apresentem fragilidade baixa em relação aos processos erosivos, são áreas onde a ocupação deve considerar aspectos legais (Áreas de Preservação Ambiental - APPs), a instabilidade dos terrenos e a ocorrência de inundações.

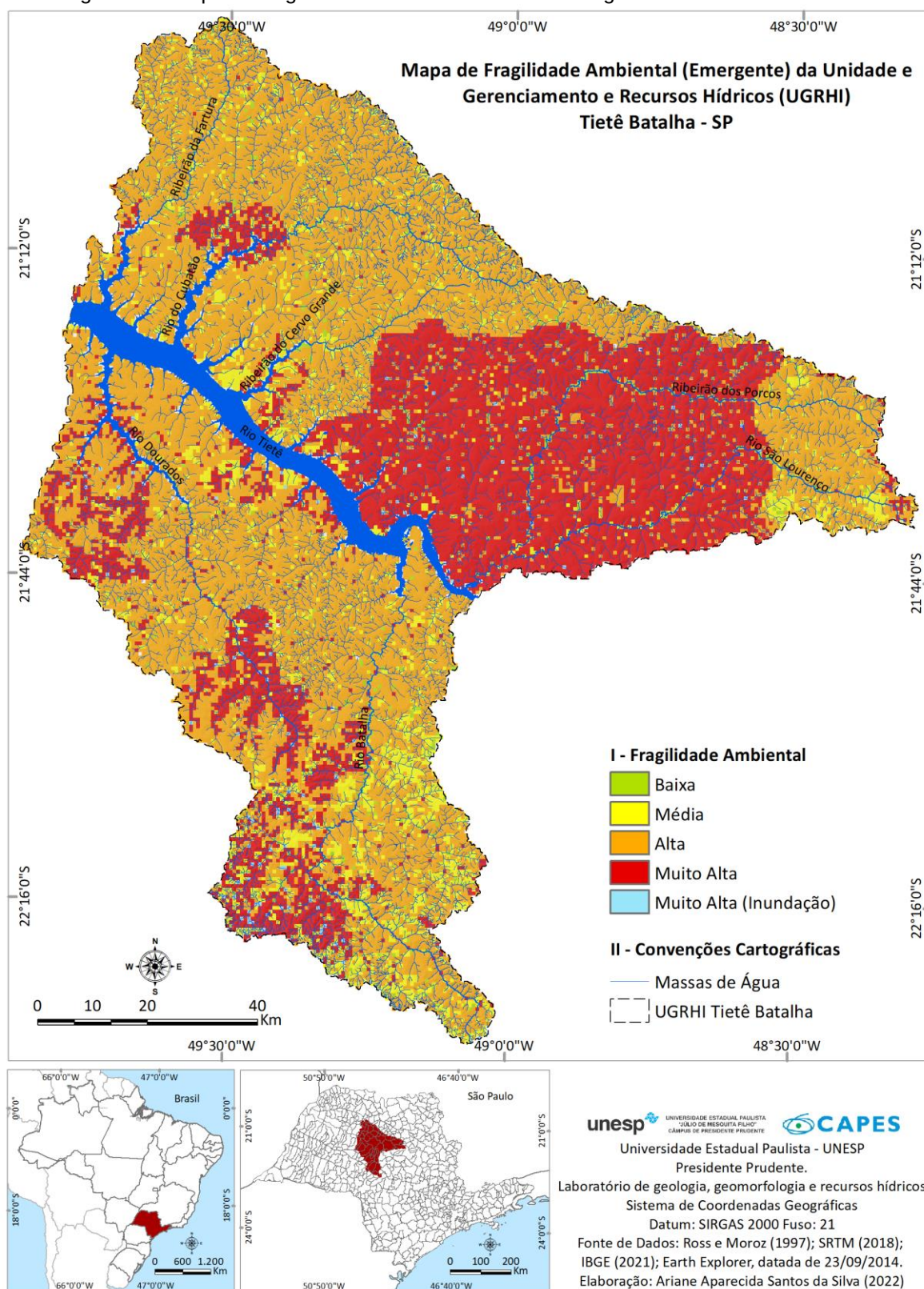
A Figura 13 corresponde ao Mapa de Fragilidade Ambiental da UGRHI-16 resultante da análise multicriterial ponderada dos mapas intermediários (Fragilidade Potencial e Uso e Cobertura da Terra).

A análise do mapa de Fragilidade Ambiental e do Gráfico 8 permite verificar que na área de estudo predominam as classes de fragilidade ambiental Alta (58%) e Muito Alta (32%). Ao comparar com o Mapa de Fragilidade Potencial, observa-se que, em função dos usos e coberturas da terra, os níveis de fragilidade alta aumentaram significativamente em área, o que indica que tais usos aumentam a susceptibilidade à erosão linear.

O processo de degradação do solo devido ao processo erosivo pode ser dividido em três etapas, cada uma com características distintas. Na primeira etapa, as propriedades originais do solo são gradativamente destruídas, e este processo não é perceptível, pois ocorre muito lentamente. No segundo estágio, tornam-se evidentes as perdas de matéria orgânica. O solo é compactado na superfície, impedindo a infiltração da água e a penetração das raízes. A erosão se intensifica e

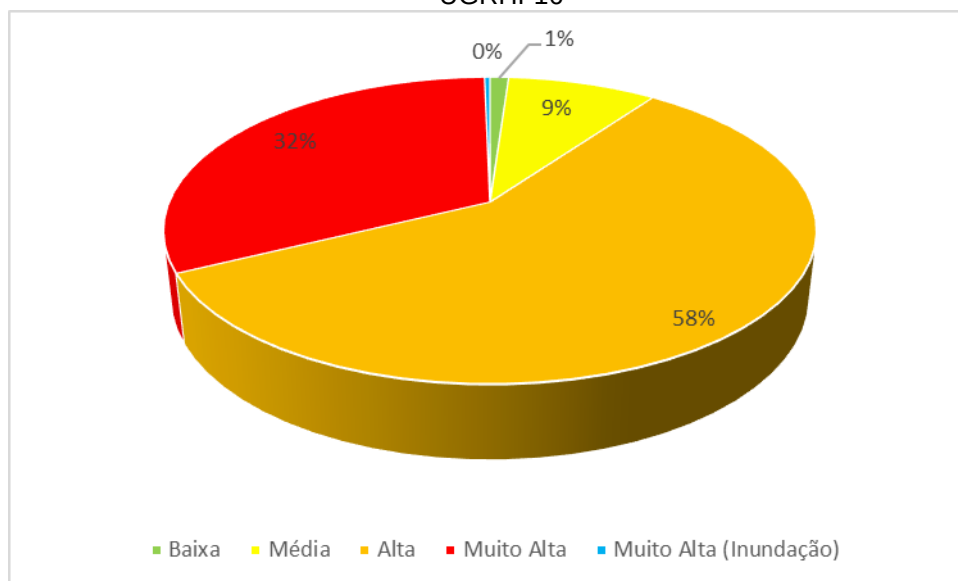
as pastagens começam a responder de forma ineficiente ao uso de corretivos e fertilizantes (Pereira, 2021).

Figura 13 - Mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Gráfico 8 - Distribuição das classes de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16

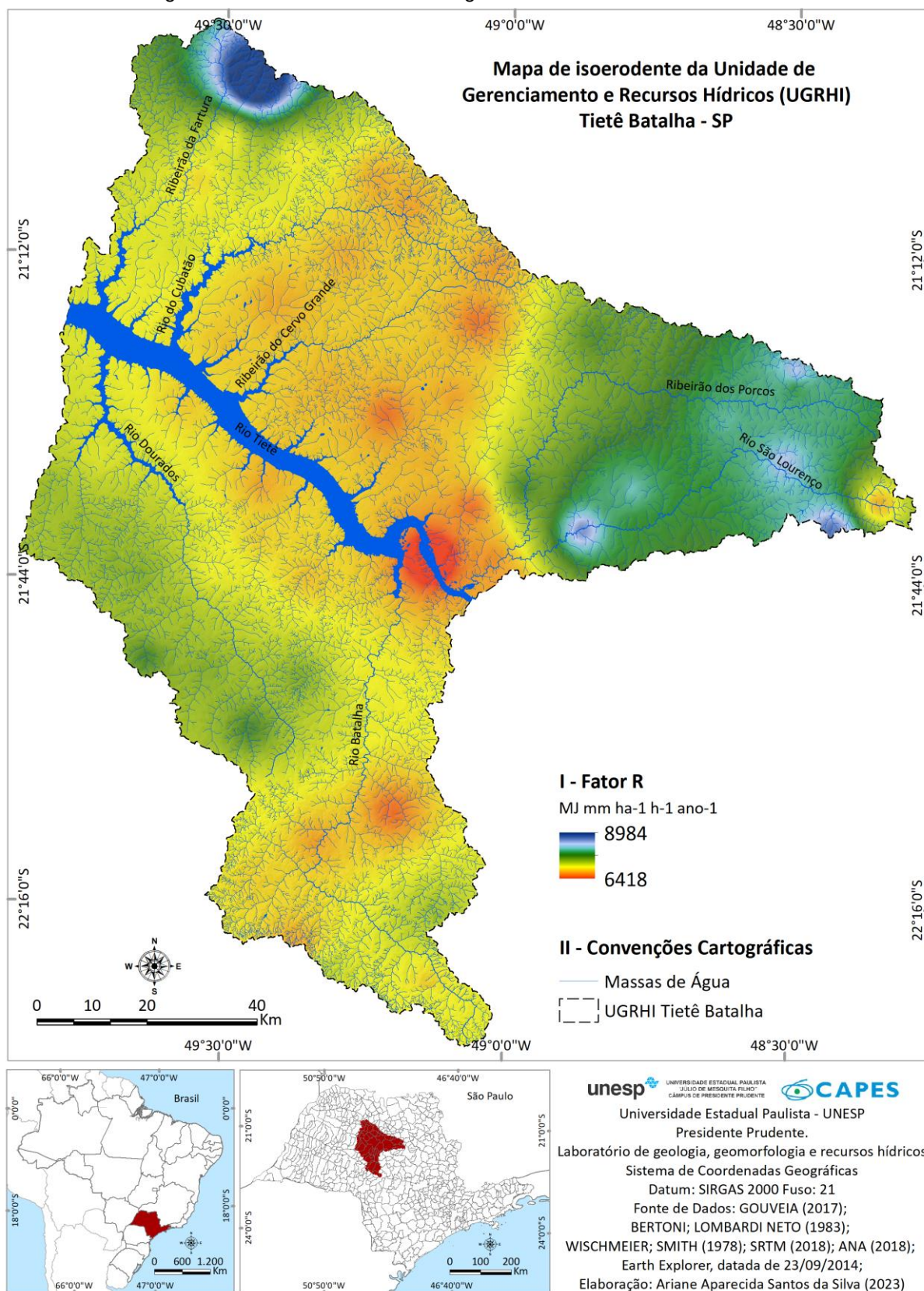


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

6.2 ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS POR EROSÃO LAMINAR DA UGRHI-16

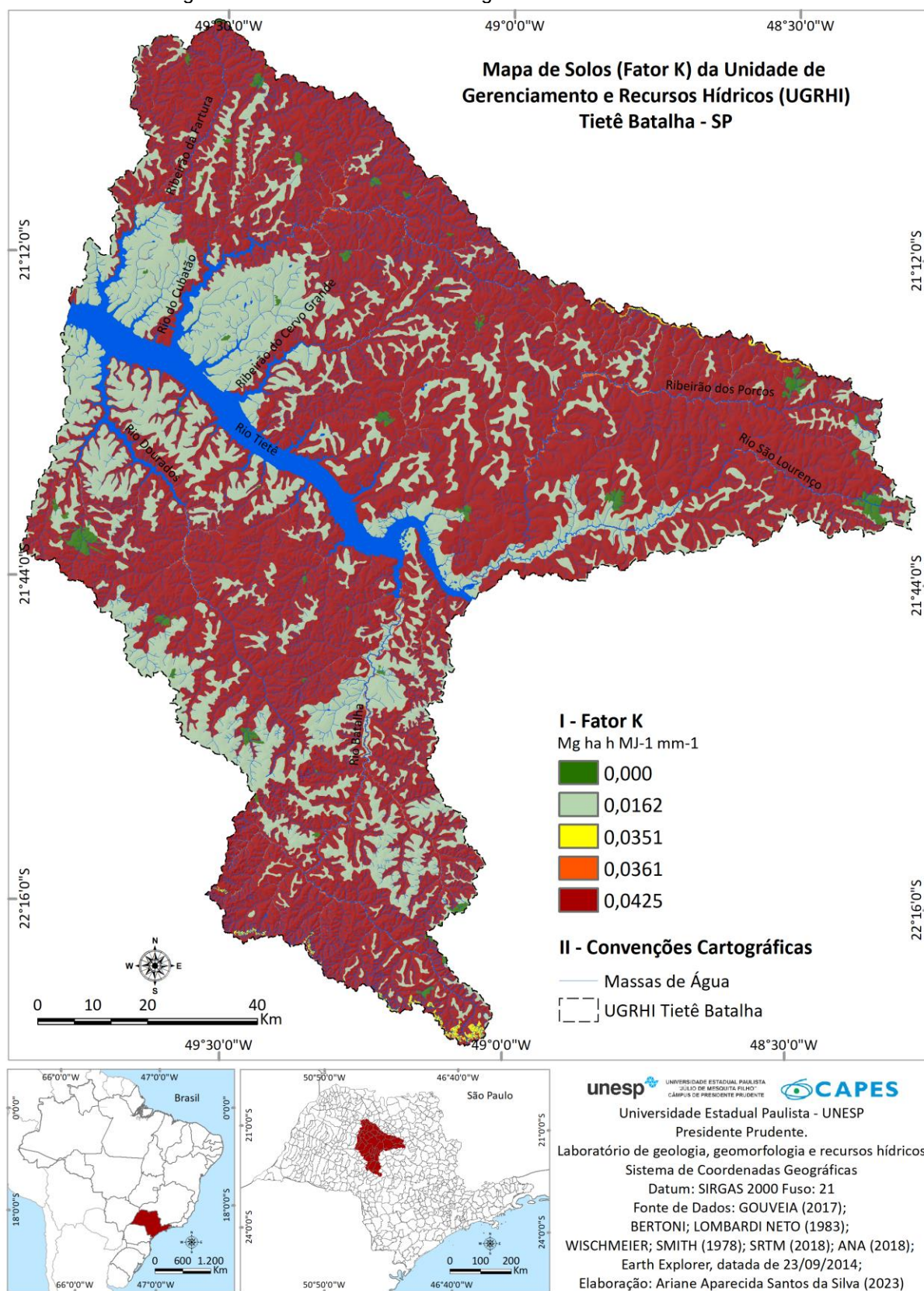
Para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) em ambiente InVEST, são necessários mapas intermediários (fator R, K, LS, C e P) para análise dos fatores que se encontram a seguir:

Figura 14 - Fator R na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



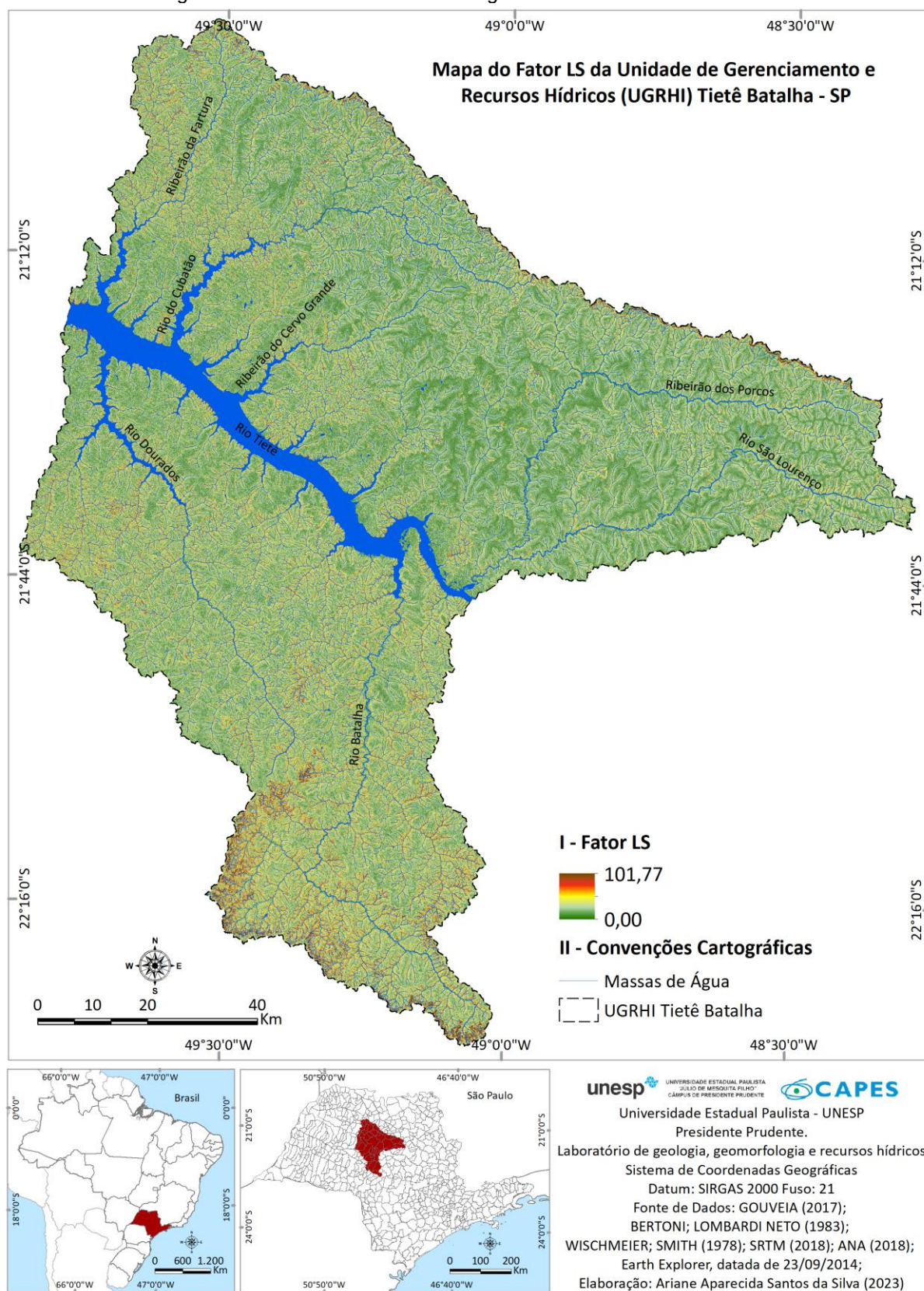
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 15 - Fator K na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



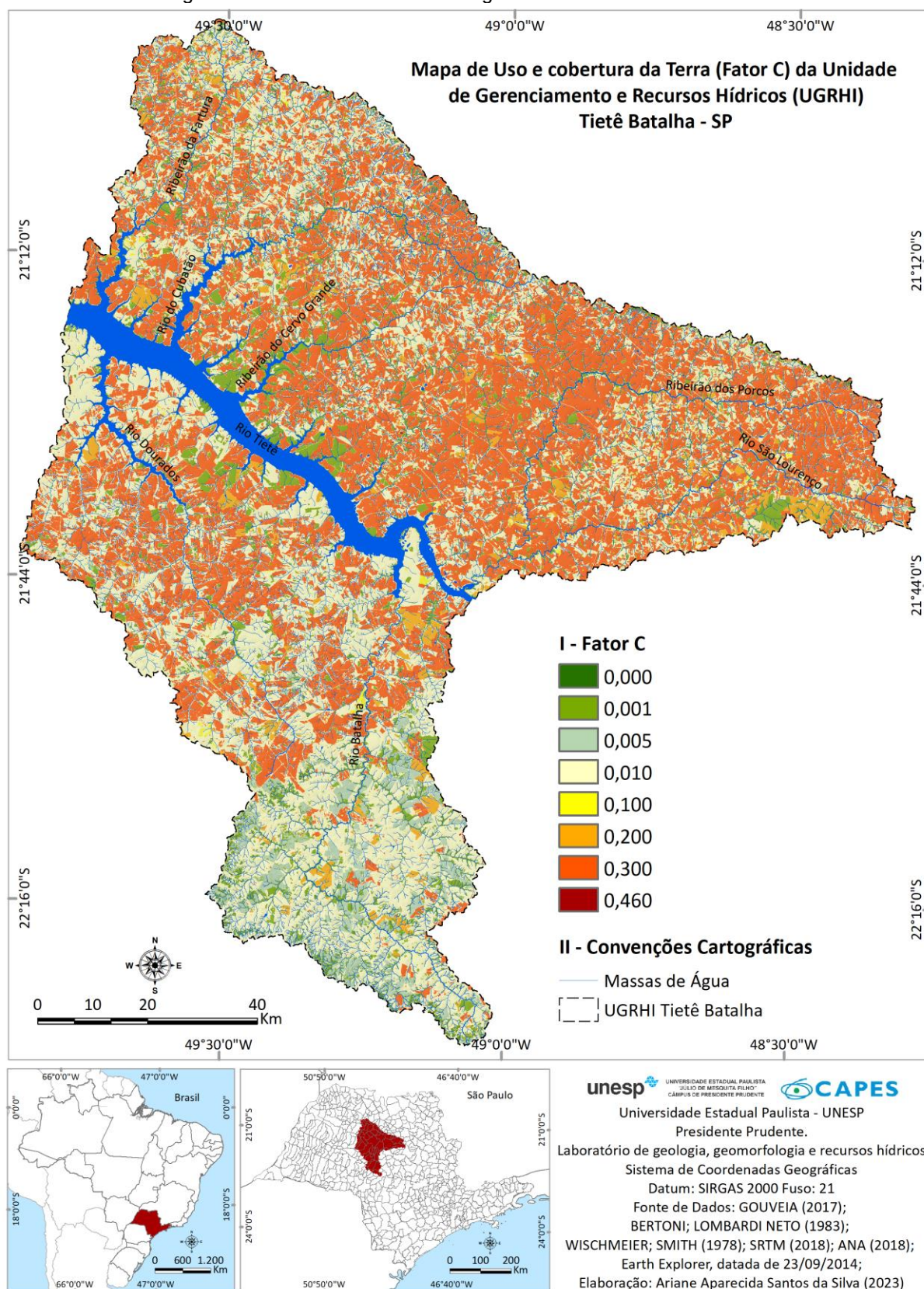
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 16 - Fator LS na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



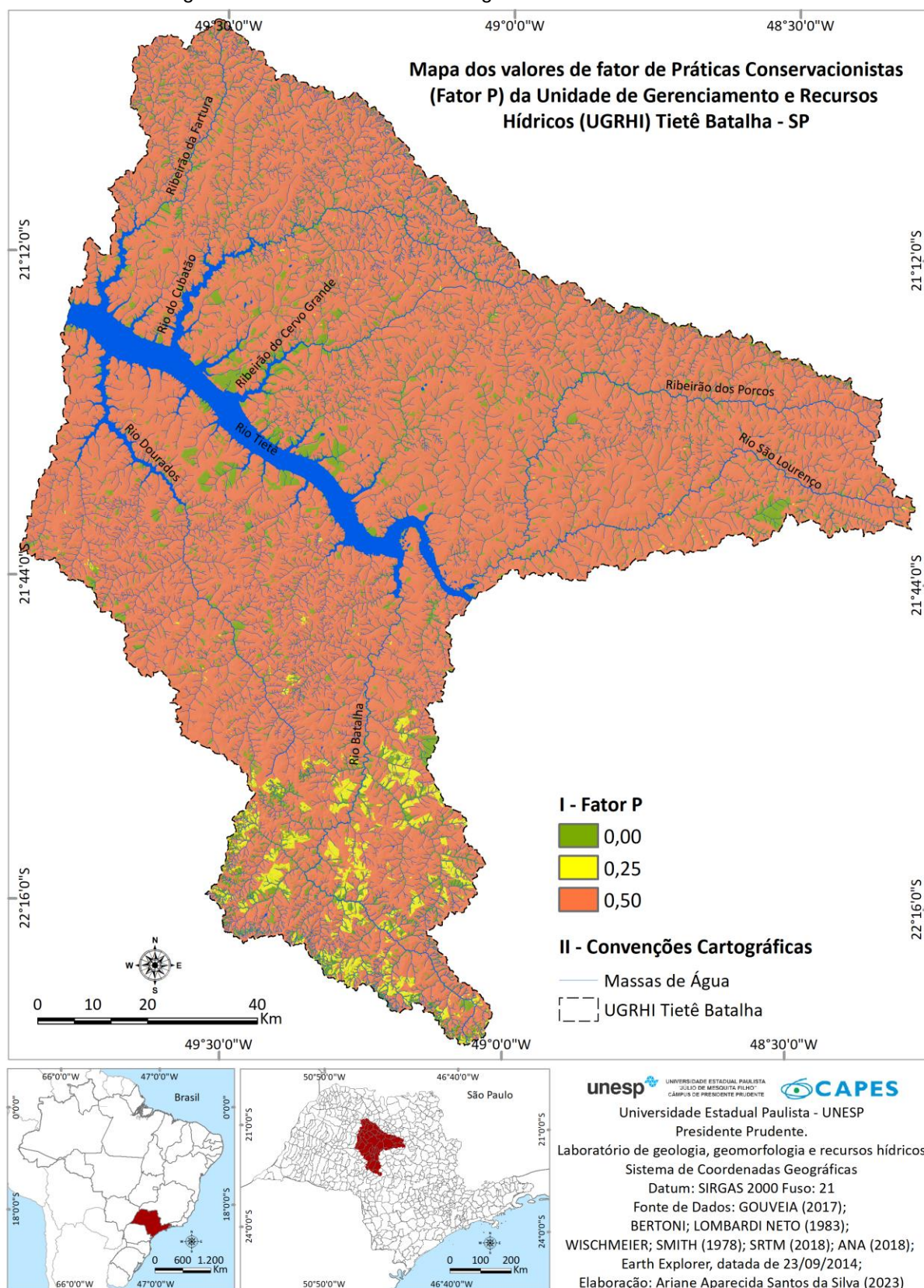
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 17 - Fator C na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 18 - Fator P na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após a apresentação dos mapas intermediários para análise dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), apresentaremos os mapas de Estimativa de Perda de Solo, Sedimentos exportados, Sedimentos retidos e o de Susceptibilidade à Erosão Pluvial da área de estudo.

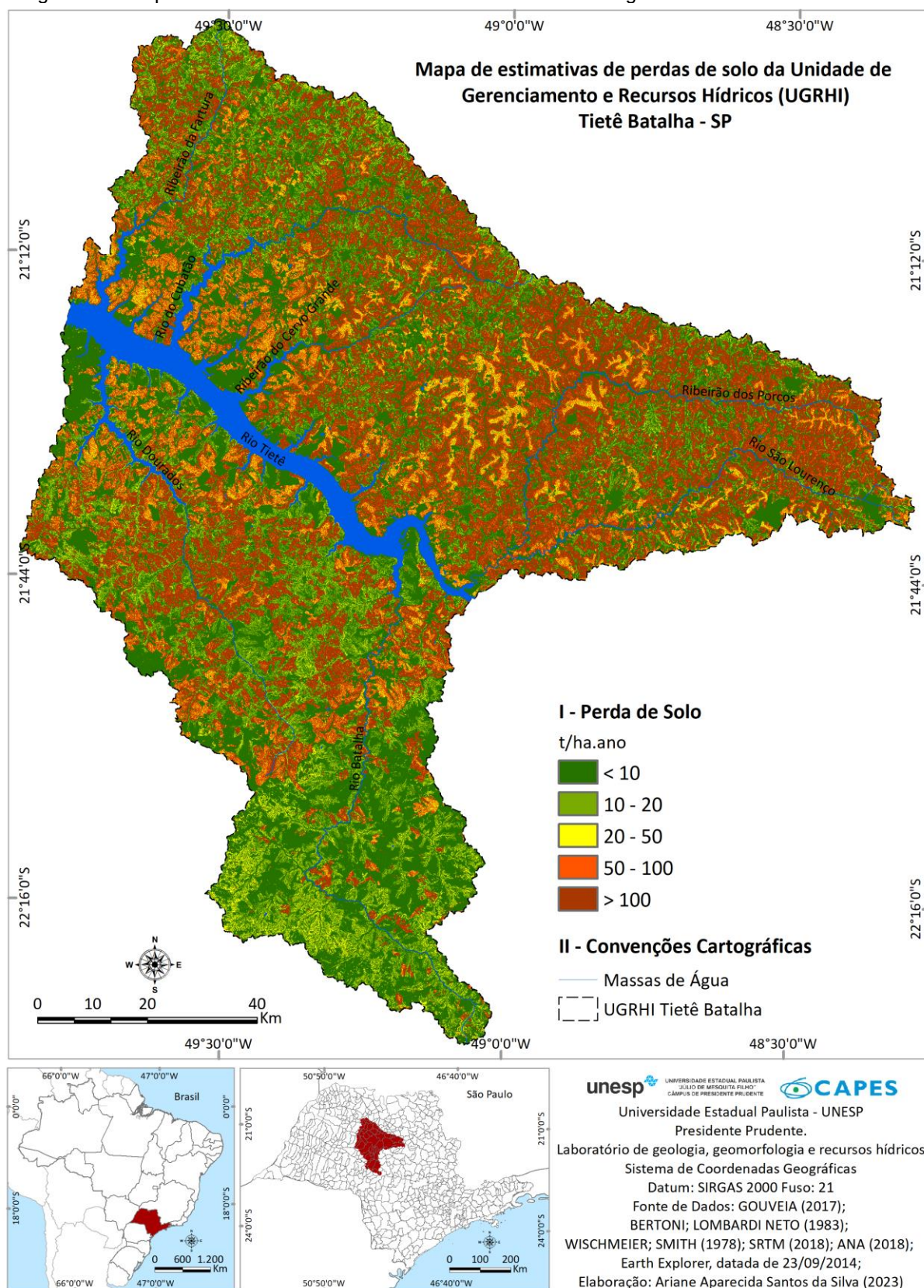
A Figura 19 representa o mapa de Estimativa de Perda de Solo da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16. De acordo com a análise do mapa, é possível atribuir que 42% da área de estudo têm perda de solo de menor do que 10 ton.ha/ano seguida de 31% com perda de solo maior do que 100 ton.ha/ano. No Gráfico 9, pode-se perceber que essa área apresenta uma situação crítica influenciando na produtividade das culturas agrícolas, tendo-se em alguns casos de solos seriamente erodidos e a perda total da capacidade produtiva.

Em geral, a cobertura vegetal é mais vulnerável a modificações causadas pelo homem (Brooks & Brierley, 1997) e é um dos principais fatores internos que determinam a magnitude da erosão e o transporte de sedimentos para um rio. Além disso, a vegetação desempenha um papel crucial no controle da conectividade lateral de sedimentos, influencia a rugosidade da superfície e a capacidade local de armazenar sedimentos e água (Puigdefabregas *et al.*, 1999).

Esses aspectos sublinham a importância de uma cobertura vegetal saudável para a manutenção da estabilidade dos ecossistemas fluviais. A vegetação atua como um regulador natural, ajudando a mitigar os efeitos da erosão e a controlar o fluxo de sedimentos para os corpos d'água, conforme visto na Figura 19.

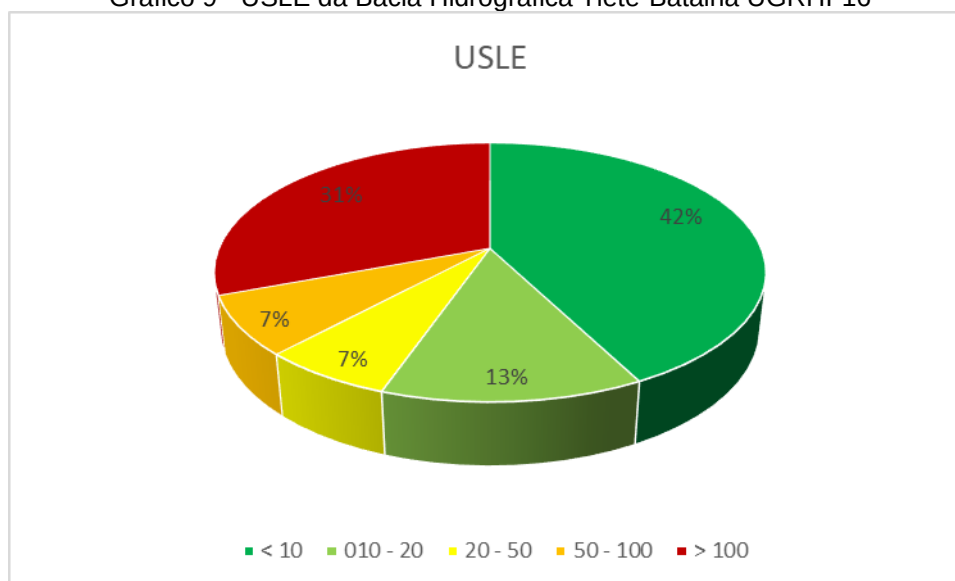
Sem uma cobertura vegetal adequada, a superfície do solo se torna mais suscetível à erosão, resultando em maior transporte de sedimentos e, conseqüentemente, na degradação da qualidade da água e dos habitats aquáticos. Portanto, a gestão e conservação da vegetação são fundamentais para a sustentabilidade dos recursos hídricos e a preservação dos ecossistemas associados (Valera, 2017).

Figura 19 - Mapa de Estimativa de Perdas de Solo na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Gráfico 9 - USLE da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16

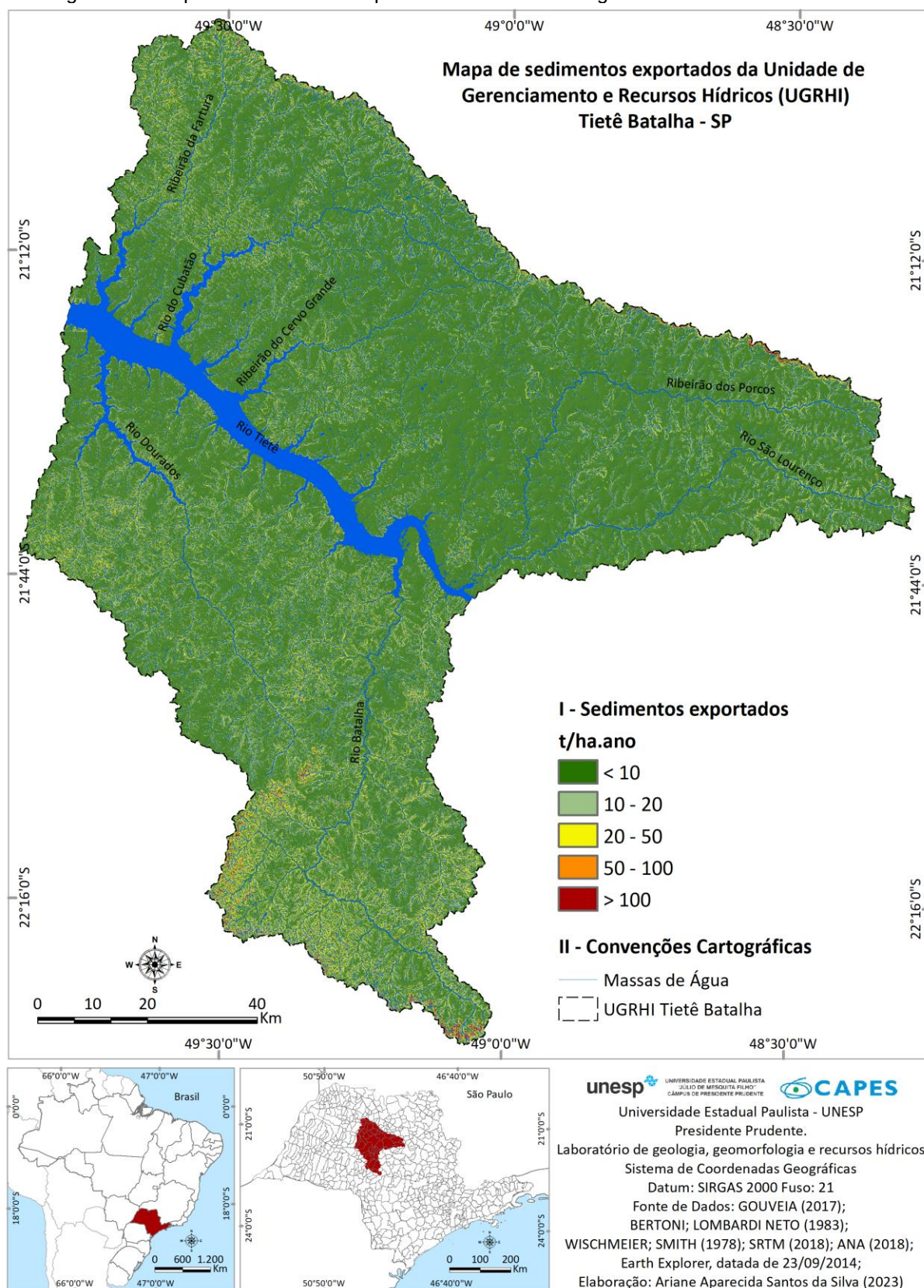


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O mapa de sedimentos exportados da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16 nos dá a dimensão da quantidade de material inconsolidado que pode chegar aos cursos fluviais. 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. Na Figura 20 e no Gráfico 10, é possível identificar as porcentagens de cada classe de exportação de sedimentos com porcentagem (93%) <10 ton.ha/ano.

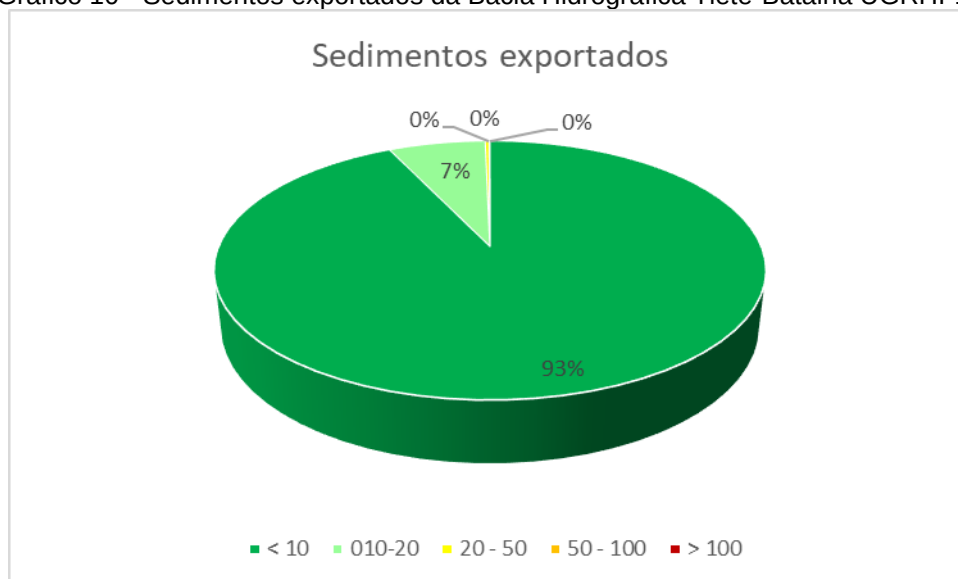
De acordo com Ross (1985), “os planaltos em Bacias Sedimentares são quase que totalmente rodeados por depressões periféricas ou marginais. Essas unidades também se destacam por apresentar, nos contatos entre planalto e depressão, relevos escarpados caracterizados por frentes de Cuestas.” No caso específico da unidade Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16 que ocupa (93%) <10 ton.ha/ano, temos como exemplo também o morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista (que ocupa cerca de 50% da área total do Estado de São Paulo), o relevo é suavemente ondulado, predominando colinas amplas e baixas com topos suavemente convexos ou aplanados. Com menor expressão espacial, a área de estudo apresenta ainda terraços e planícies fluviais (Unidade Morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas), associados ao baixo curso do Rio do Peixe. As morfoesculturas das Planícies Fluviais ocorrem em áreas limitadas, associadas a depósitos a montante de níveis de base locais e regionais.

Figura 20 - Mapa de sedimentos exportados da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

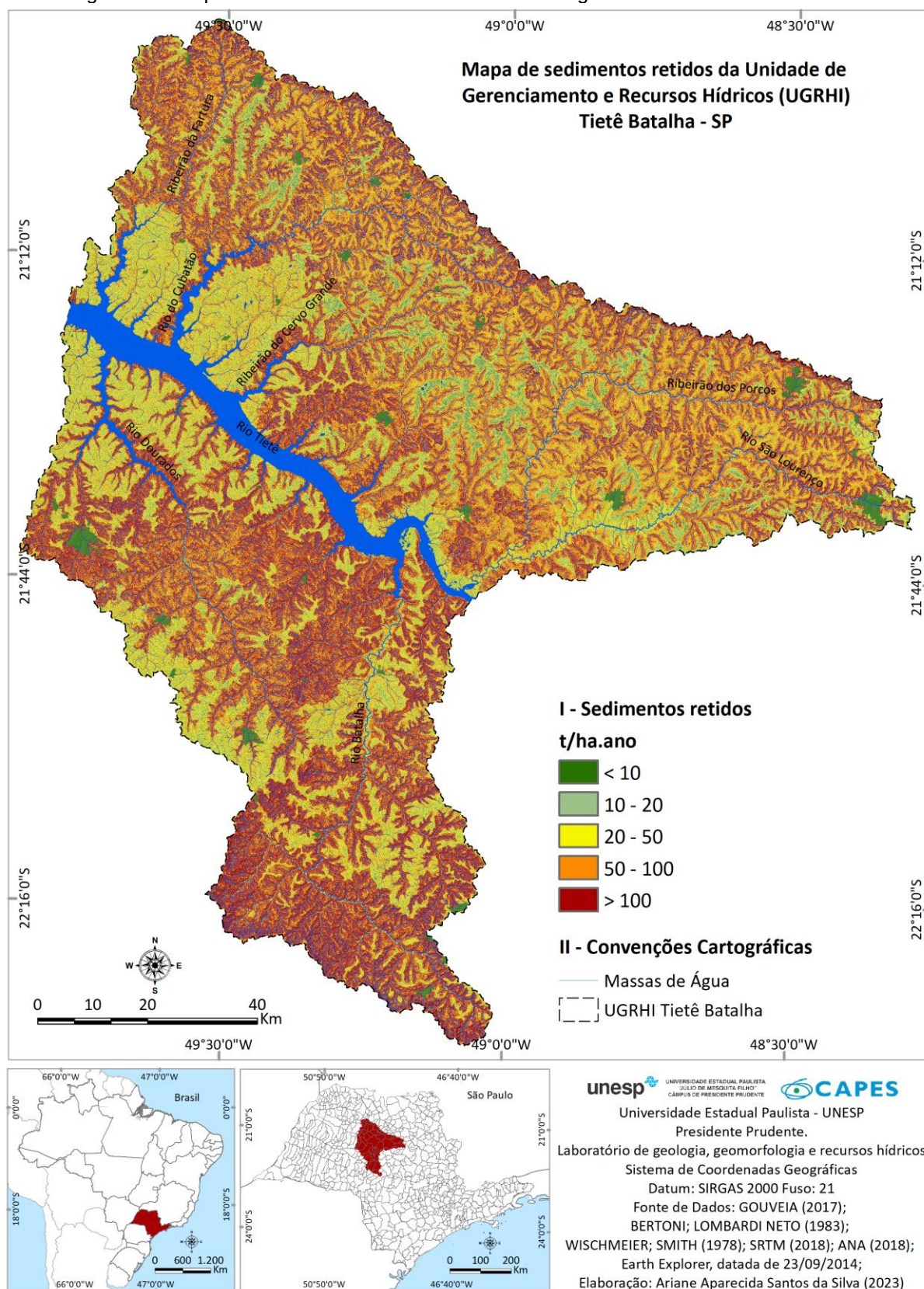
Gráfico 10 - Sedimentos exportados da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

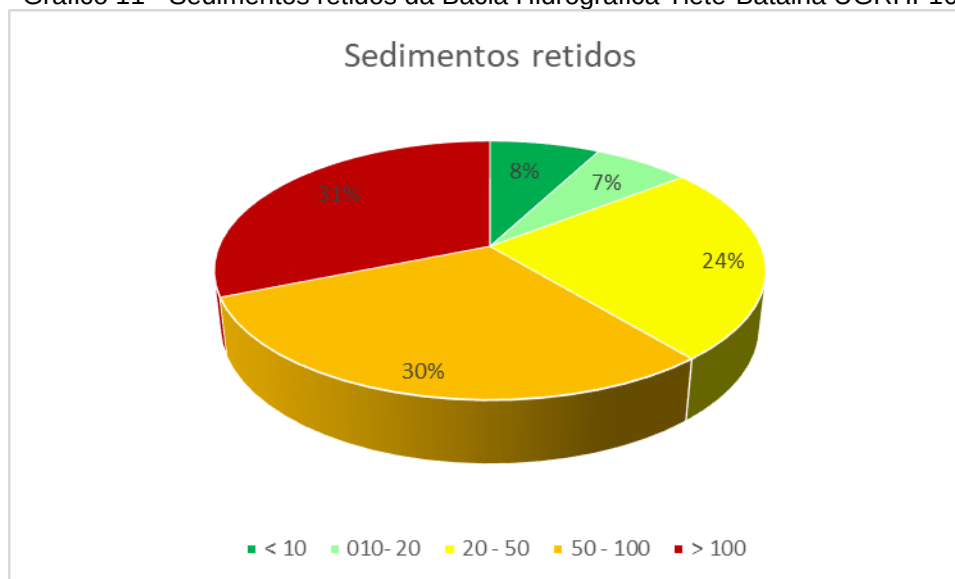
Na Figura 21 e no Gráfico 11, é possível identificar as porcentagens de cada classe dos sedimentos retidos, sendo que 31% da área retém mais de 100 ton.ha/ano, enquanto apenas 8% apresentam taxas inferiores a 10 ton.ha/ano.

Figura 21 - Mapa de sedimentos retidos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Gráfico 11 - Sedimentos retidos da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

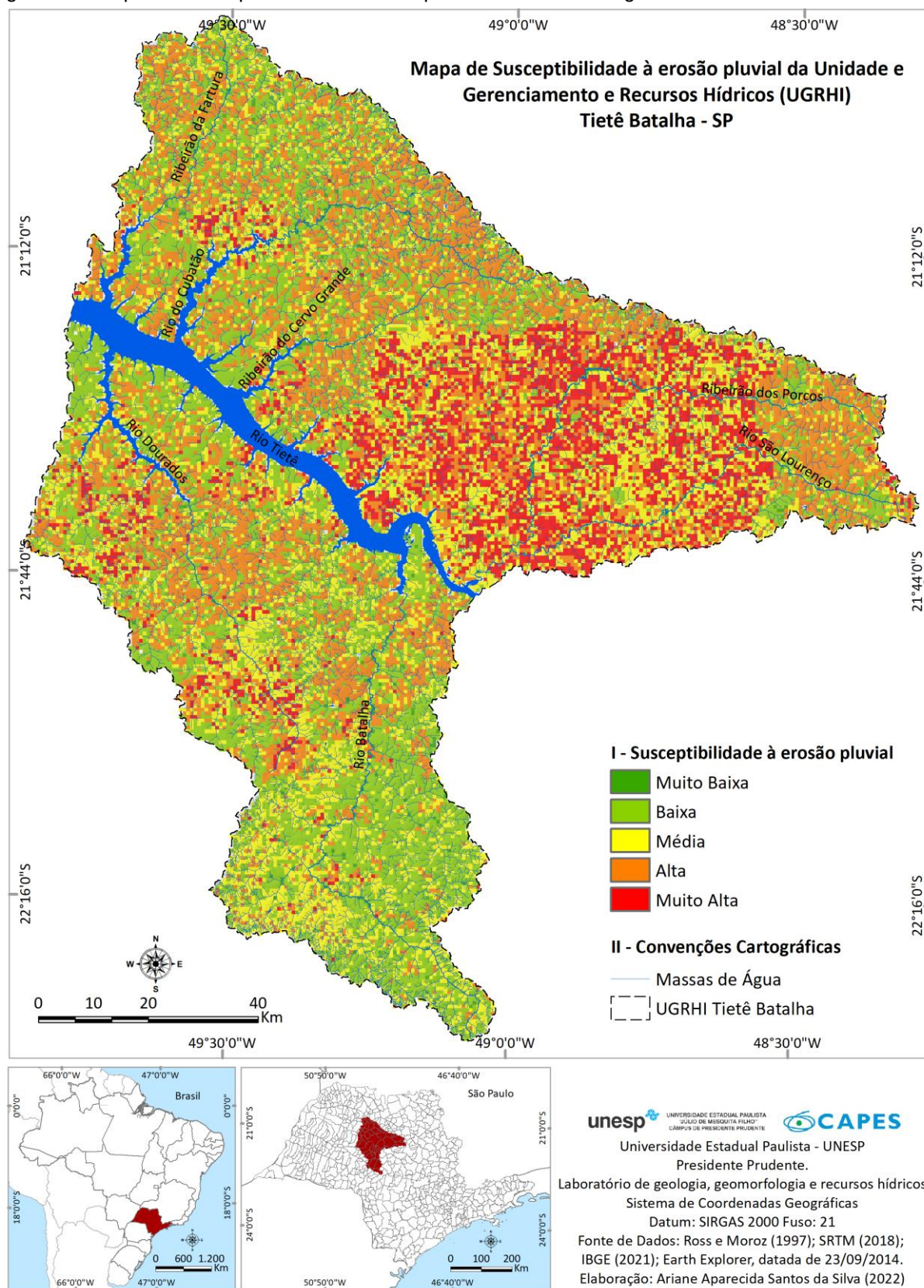
6.3 SUSCEPTIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS PLUVIAIS DA UGRHI-16

Como síntese da susceptibilidade aos processos erosivos, tem-se o Mapa de Susceptibilidade aos Processos Erosivos, unindo os aspectos relacionados aos processos erosivos laminares e lineares (Figura 22) e a partir dele foi elaborado o Gráfico 15.

Como síntese, avalia-se que 30% da área total da UGRHI-16 têm uma susceptibilidade alta a processos erosivos laminares e lineares seguidos de 12% muito alta, totalizando 42% da área de estudo com taxas muito altas e altas, como indica o Gráfico 12 e a Figura 22.

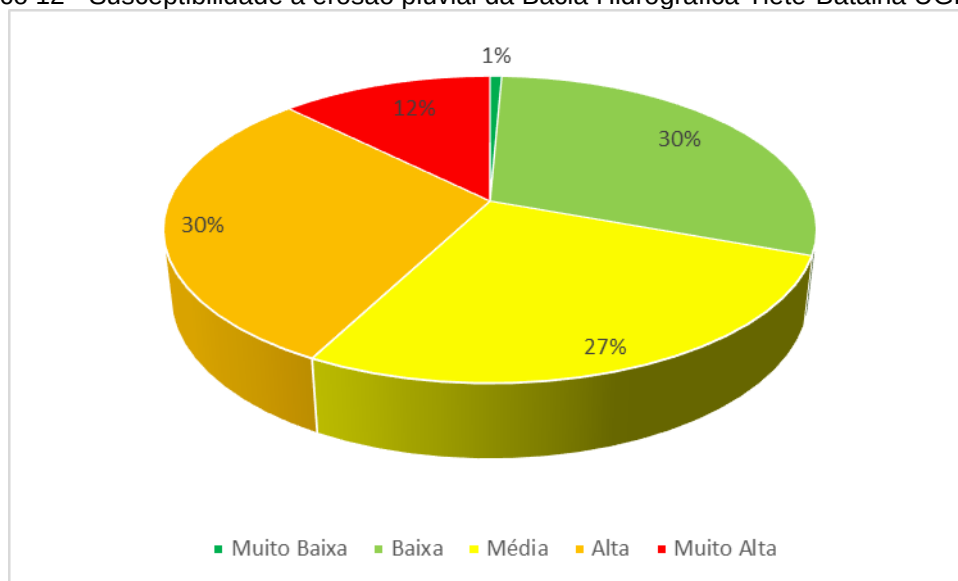
A erosão ocorre em três fases principais: remoção, transporte e deposição/sedimentação das partículas. A desagregação das partículas sólidas, conforme Macêdo (2009), depende da textura, plasticidade, estrutura, coesão, atividade, agregação e cimentação características do solo. O processo de transporte, por sua vez, pode ser analisado a partir da granulometria, densidade e forma dessas partículas. Finalmente, a deposição dos sedimentos pode ocorrer em locais próximos ou distantes de onde o processo erosivo teve início. Esses depósitos de sedimentos podem se formar em áreas planas, planícies de inundação, deltas, estuários, leitos de rios, lagos, reservatórios e conforme o Mapa de Susceptibilidade à erosão pluvial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16.

Figura 22 - Mapa de Susceptibilidade à erosão pluvial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Gráfico 12 - Susceptibilidade à erosão pluvial da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha UGRHI-16



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como finalidade analisar a fragilidade ambiental e a perda de solo na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Tietê/Batalha (UGHRI-16), determinando os níveis de fragilidade ambiental, e identificando espacialmente níveis de susceptibilidade à erosão pluvial para subsidiar o Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê/Batalha em ações de planejamento ambiental e programas de recuperação ambiental. Tudo isso se deu através da aplicação do modelo de Fragilidade Ambiental de Ross (1994) e através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). A escolha da área de estudo se deu pela falta de pesquisa sobre este tema.

Os mapas de fragilidade potencial e fragilidade emergente com os focos erosivos identificados na área indicaram que os modelos preditivos correspondem à realidade verificada na área, sendo, portanto, importantes ferramentas para subsidiar diagnósticos e zoneamentos ambientais. Em relação à Fragilidade Potencial, prevalecem na área níveis médios de fragilidade potencial com 54%, enquanto o nível de fragilidade alta ocupa 17% e o nível de fragilidade muito alta corresponde a 19%. Em relação aos níveis de Fragilidade Ambiental Emergente, eles são altos com 58%, seguidos de níveis de fragilidade muito altos com 32%.

Por meio da aplicação da EUPS para análise dos processos erosivos laminares, foi avaliado que 42% da área de estudo têm perda de solo de menor do que 10 ton.ha/ano, seguida de 31% com perda de solo com mais de 100 ton.ha/ano, sendo assim, essa área apresenta uma situação crítica influenciando na produtividade das culturas agrícolas, tendo-se em alguns casos de solos seriamente erodidos e perda total da capacidade produtiva. Já em relação aos sedimentos exportados é possível identificar as porcentagens de cada classe de exportação de sedimentos com porcentagem (93%) <10 ton.ha/ano, o que pode indicar que apesar das elevadas taxas de erosão laminar, os usos e coberturas da terra ainda conseguem reter os sedimentos, evitando que eles atinjam os cursos fluviais.

Em relação ao mapa síntese de Susceptibilidade aos Processos Erosivos avalia-se que 30% da área total de estudo têm uma susceptibilidade alta a processos erosivos laminares e lineares seguidos de 12% muito alta, totalizando 42% da área de estudo com taxas muito altas e altas.

Para diminuir ou evitar os processos erosivos na área de estudo, podemos aplicar técnicas de cultivo como a plantação em curvas de nível, usando as faixas de retenção, formação de terraços, cordões de contorno e obras de drenagem para o controle de escoamento superficial. Caso nenhuma medida para avaliar, monitorar e mitigar esses impactos forem adotadas, o ciclo hidrológico das bacias hidrográficas será alterado drasticamente, bem como o aumento de perda de solos e deflagração de processos erosivos serão agravados.

Assim, acredita-se que a pesquisa contribuiu para um melhor conhecimento acerca das fragilidades do meio físico face às intervenções antrópicas na área de estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, G. S. Prevenção de erosões em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: CD-ROM, 1998.

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, p. 59-78, 2009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74128>. Acesso em: 19 out. 2023.

ARAUJO, R. da C. de; PONTE, M. X. Efeitos do desmatamento em larga-escala na hidrologia da bacia do Uraim, Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.] v. 9, n. 7, p. 2390-2404, set. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233810/0>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BERTONI, J. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/xmb6S9T7WZXyT8WrTtwngzN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 1. ed. Piracicaba: Livroceres, 1985.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone Editora, 2012. 355 p.

BRAGA, B. P. F. *et al.* **Pacto federativo e gestão das águas**. Dossiê Água - Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p.17-42, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10291>. Acesso em: 10 set. 2023.

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.

CARDOSO, E. H. G.; MOROZ CACCIA GOUVEIA, I. C. Fragilidade ambiental aos processos erosivos em bacias hidrográficas: o caso do Ribeirão Negrinha –Osvaldo Cruz/SP. **Formação (Online)**, [S. l.], v. 26, n. 49, p. 163-193, 2019. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/5562>. Acesso em: 29 jun. 2023.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CASTRO, Leslie Ivana Serino et al. Sistema de Informação Geográfica na formulação de indicadores ambientais para sustentabilidade dos recursos hídricos. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 655-674, 2014.

CBH-TB (Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha). **Plano da Bacia Hidrográfica – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-16 Tiete/Batalha**. CBH-TB, 2008.

CBH-TB (Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha). **Plano da Bacia Hidrográfica – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-16 Tiete/Batalha**. CBH-TB, 2016.

CBH-TB (Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha). **Plano da Bacia Hidrográfica – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-16 Tiete/Batalha**. CBH-TB, 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 2001.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

CONCIANI, W. **Processos erosivos**: conceitos e ações de controle. 1 ed. Cuiabá: CEFET - MT, 2008.

COSTA, T. C. C. *et al.* **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 78). 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.

CRUZ, R. C. **Prescrição de vazão ecológica**: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados. 2005. 135 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DANTAS, Georgia Kércia de Medeiros. **Estudo geomorfológico a partir do uso de sistema de informações geográficas (Landsat 8 e Topodata): um estudo de caso na sub-bacia do Riacho Santana-RN**. 2016. Dissertação de Mestrado. Brasil.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:250.000. Rio Claro: Convênio DAEE/UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 1982.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 1ª ed. Tradução de João Alves dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil S/A, 1983.

DUARTE, J. M.; BLANCO, C. J. C.; SANTANA, L. R. Estimativa de vazão máxima para projetos de barragem na bacia hidrográfica do rio Uraim em Paragominas/Pa. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 262-281, maio 2021. Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8615/0. Acesso em: 20 out. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2023.

FERNANDES, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FROTA, Patrícia Vasconcelos. PROCESSO EROSIVO E A RETIRADA DA VEGETAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE ORÓS–CE. **Revista geonorte**, v. 3, n. 6, p. 1472–1481-1472–1481, 2012.

GALETI, P. A. **Conservação do solo, reflorestamento, clima**. 2ª ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982.

GERENTE, Jéssica. Aplicação de variáveis geomorfométricas ao mapeamento de padrões de relevo na bacia do Rio Itajaí-Açu/SC. **CEP**, v. 12, p. 010, 2018.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases de conceitos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 255-280.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos, 2017.

GUERRA, A.J.T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], 16, p. 32–37. 32, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47282>. Acesso em: 20 jun. 2023.

GUERRA, A.J.T.; JORGE, M. C. A. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013.

IBGE. IBGE/DGC. **Base Cartográfica Contínua do Brasil**, escala 1:250.000 – BC250: versão 2019. Rio de Janeiro, 2019.

IBGE. **Mapa de Solos**. Rio de Janeiro, 2018. 1 mapa, color. Escala 1: 250.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 16 ago. 2023.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (orgs.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.131-152.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo**, RELATÓRIO TÉCNICO 131.057 – 205 Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2012.

KINNELL, P. I. A. The effect of Slope Length on Sediment Concentrations Associated with Slide-Slope Erosion. **Soil Science Society of American journal**. v. 64, p. 1004-1008, 2008.

MACÊDO, Íris Luna. Estudo de modelos em ambiente de geoprocessamento para a previsão de erosão e assoreamento de reservatórios: o caso da bacia do rio Indaiá-UHE Três Marias, MG. 2011.

MEDEIROS, P. C.; SOUSA, F. de A. S. de; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92817183011.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

MOROZ CACCIA-GOUVEIA, I. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 37, p. 123-136, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/151030>. Acesso em: 17 jul. 2023.

OLIVEIRA, J. B. de et. al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Escala: 1:500.000. 1999. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999.

PEREIRA, L. C. *et al.* Análise de uso e cobertura da terra na microbacia do rio Uraim, Paragominas-Pa. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, VII, 2018, Belém – PA. **Anais [...]**. Belém, 2018, p 1-9.

PEREIRA, L. C. *et al.* Mapeamento de uso e cobertura da terra e análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Uraim. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 75, p. 225-239, maio 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/51521/29018>. Acesso em: 29 nov. 2023.

PUIGDEFABREGAS, J.; SOLE, A.; GUTIERREZ, L.; BARRIO, G. DEL; BÔER, M. 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.

ROBAINA, Luis; TRENTIN, Romario. Estudos e zoneamento geoambiental do município de São Francisco de Assis—Oeste do Rio Grande do Sul. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 16, p. 323, 2019.

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

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia- FFLCH/USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada – IPT/FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1997. Escala 1:500.000.

ROSS, J. L. S. Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 9, p. 165-175, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53692>. Acesso em: 03 ago. 2023.

ROSS, J. L.S. Relevo Brasileiro, uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*, n º 4, FFLCH-USP, São Paulo. 1985.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 8, p. 63-74, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 07 maio 2023.

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

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

RUBIRA, F. G.; MELO, G. do V. de; OLIVEIRA, F. K. S. de. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 168-193, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229235>. Acesso em: 03 ago. 2023.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SEADE. **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados**. Informações dos municípios paulistas, 2012.

SANTOS, Edilsa Oliveira dos. Configuração socioambiental da planície costeira no município de Paripueira–Alagoas. 2017.

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1984.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. 2ª ed. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003.

SILVA, Marcela Alves da et al. Modelagem hidrológica e das perdas de solo: suas relações com as formas de relevo e uso do solo na bacia do rio Taperoá-PB. 2015.

SILVA, Cecília Félix Andrade. **Relevo antropogênico**. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2016.

SILVA, C. N. da; SILVA, E. K. L. R. da. **Fundamentos do geoprocessamento com o uso do QGIS**. Belém: GAPTA-UFPA, 2022.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre**. São Paulo, Instituto de Geografia USP, 1978.

SOUZA, Natália da Costa. **Geotecnologias na análise da suscetibilidade e risco de processos erosivos em áreas de entorno de linhas férreas. Estudo de caso: malha paulista-SP (bacia do Tietê-Sorocaba)**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023.

VALADÃO, Roberto Célio et al. Propostas metodológicas em inventários do patrimônio geomorfológico: uma análise a partir da rede conceitual alimentadora da geomorfologia. 2023.

VALERA, Carlos Alberto. Avaliação do novo código florestal: as áreas de preservação permanente–APPs, e a conservação da qualidade do solo e da água superficial. 2017.

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