



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE/SP

**Degradação ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, Birigui, SP e o
custo de serviço de água para a população urbana**

Lucas Momesso Fernandes

Presidente Prudente

2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE/SP

**Degradação ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, Birigui, SP e o
custo de serviço de água para a população urbana**

Lucas Momesso Fernandes

Trabalho de dissertação apresentado ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia – Mestrado
Profissional – Recursos Hídricos e Meio Ambiente da
FCT/UNESP para obtenção do Título de Mestre em
Ciências.

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione

Presidente Prudente

2024

F363d

Fernandes, Lucas Momesso

Degradação ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes,
Birigui, SP e o custo de serviço de água para a população urbana /
Lucas Momesso Fernandes. -- Presidente Prudente, 2024

95 p. : tabs., mapas

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

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione

1. Degradação Ambiental. 2. Fragilidade Ambiental. 3. Ribeirão
Baixotes. 4. Birigui. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO
BAIXOTES, BIRIGUI, SP E O CUSTO DE SERVIÇO DE ÁGUA PARA A
POPULAÇÃO URBANA

AUTOR: LUCAS MOMESSO FERNANDES

ORIENTADOR: RODRIGO LILLA MANZIONE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências, área: Recursos
Hídricos e Meio Ambiente pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE (Participação Virtual)
Departamento de Geografia e Planejamento / Faculdade de Ciências Tecnologia e Educação de Ourinhos -
FCTE/Unesp

Profa. Dra. RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Departamento de Planejamento Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente
Prudente - FCT/Unesp

Dr. VINICIUS DOS SANTOS (Participação Virtual)

.

Presidente Prudente, 30 de agosto de 2024

Dedico esse trabalho aos meus pais, pelo apoio e carinho

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e pelas oportunidades;

À Unesp pela possibilidade do estudo gratuito e de qualidade oferecido tanto na graduação quanto na pós-graduação;

À minha família pelo apoio oferecido para chegar até aqui;

Ao meu orientador pelo apoio, orientação e amizade construída;

À banca do exame de qualificação e defesa por se disponibilizarem a avaliação deste trabalho;

Aos amigos de trabalho da E. E, Olívia Angela Furlani por acompanharem e apoiarem toda a trajetória;

“Ao redor do buraco, tudo é beira”

Ariano Suassuna

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo identificar o grau de degradação ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, nos municípios de Birigui, Brejo Alegre e Coroados, na região noroeste do estado de São Paulo, no período entre 2016 e 2022, através da metodologia do Índice de Degradação Ambiental – IDA. A drenagem do ribeirão tem suas nascentes no município de Coroados e sua foz nos limites municipais de Birigui e Brejo Alegre. O procedimento utilizado para mensurar a degradação ambiental da bacia insere o fator antrópico junto a fatores naturais e os classifica em quatro classes distintas ao final do cálculo, sendo elas qualidade ambiental alta, qualidade ambiental moderada, qualidade ambiental subcrítica e qualidade ambiental crítica, como o procedimento também utiliza os parâmetros necessários para o cálculo da fragilidade ambiental (declividade, relevo, solos e uso e cobertura da terra), a mesma foi calculada e o resultado encontrado foi uma bacia com médio e alto grau de fragilidade com áreas bem delimitadas de baixa fragilidade ambiental. Na análise de semelhança, o dendrograma aponta dois agrupamentos entre as classes de fragilidade ambiental emergente e a degradação ambiental, e outro agrupamento com as faixas de consumo de água, ao final da análise, conclui-se que tanto as classes de fragilidade e degradação ambiental e as classes de consumo de água estão relacionadas pelas classes de fragilidade e degradação que ocupam a maior área dentro da bacia.

Palavras-chave: Degradação Ambiental, Fragilidade Ambiental, Ribeirão Baixotes, Birigui.

ABSTRACT

The present work aims to identify the degree of environmental degradation of the Baixotes river basin, in the municipalities of Birigui, Brejo Alegre and Coroados, in the northwest region of the state of São Paulo, in the period between 2016 and 2022, using the Index methodology of Environmental Degradation – IDA. The river's drainage has its sources in the municipality of Coroados and its mouth in the municipal limits of Birigui and Brejo Alegre. The procedure used to measure the environmental degradation of the basin inserts the anthropic factor together with natural factors and classifies them into four distinct classes at the end of the calculation, namely high environmental quality, moderate environmental quality, subcritical environmental quality and critical environmental quality, such as procedure also uses the necessary parameters to calculate environmental fragility (slope, relief, soil and land use and cover), it was calculated and the result found was a basin with a medium and high degree of fragility with well-defined areas of low environmental fragility. In the similarity analysis, the dendrogram points out two groupings between the classes of emerging environmental fragility and environmental degradation, and another grouping with the water consumption ranges. At the end of the analysis, it is concluded that both the classes of fragility and environmental degradation and the water consumption classes are related by the fragility and degradation classes that occupy the largest area within the basin.

Keywords: Environmental Degradation, Environmental Fragility, Ribeirão Baixotes, Birigui.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases do planejamento ambiental	38
Figura 2: Localização da nascente, ponto de captação e foz do ribeirão Baixotes.	41
Figura 3: Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes	43
Figura 4: Evolução do uso e ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes	44
Figura 5: Fluxograma esquemático da metodologia de trabalho.	47
Figura 6: Imagens de satélite da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes.....	59
Figura 7: Fragilidade Ambiental Potencial da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes.....	61
Figura 8: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2016.	63
Figura 9: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2017.	64
Figura 10: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2018.	65
Figura 11: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2019.	66
Figura 12: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2020.	67
Figura 13: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2021.	68
Figura 14: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2022.	69
Figura 15: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2016.	72
Figura 15: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano 2017.....	73
Figura 17: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2018.	74
Figura 18: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2019.	75
Figura 19: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2020.	76
Figura 20: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2021.	77
Figura 21: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2022.	78
Figura 22: Dendrograma resultante da análise de semelhança aplicada as classes de fragilidade ambiental emergente, degradação ambiental e consumo de água pela população.	82

Figura 23: Benefícios propiciados por um PMSA	86
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil.	34
Tabela 2: População dos municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes.	45
Tabela 3: Atribuição das categorias hierárquicas para as classes de declividade.	48
Tabela 4: Atribuição dos níveis de fragilidade das geoformas do relevo.	49
Tabela 5: Atribuição dos níveis de fragilidade dos tipos de solo.	51
Tabela 6: Atribuição dos níveis de fragilidade as classes de uso e cobertura da terra.	53
Tabela 7: Atribuição dos níveis de fragilidade.	53
Tabela 8: Classificação da pressão antrópica.	54
Tabela 9: Classes do Índice de Degradação Ambiental.	55
Tabela 10: Áreas das classes de fragilidade ambiental emergente (Km ²).	70
Tabela 11: Áreas das classes de fragilidade ambiental emergente em porcentagem (%).	70
Tabela 12: Áreas das classes de degradação ambiental por Km ²	79
Tabela 13: Áreas das classes de degradação ambiental em porcentagem (%).	79
Tabela 14: Preços cobrados à população consumidora.	81
Tabela 15: Aumento dos preços cobrados à população consumidora em dados percentuais por faixa de consumo.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estudos Empíricos de Índices de Degradação Ambiental.....	22
Quadro 2: Estudos sobre fragilidade ambiental em bacias hidrográficas.....	27
Quadro 3: Valores cobrados por faixa de consumo	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ARPM – Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONESAN - Conselho Estadual de Saneamento Básico

CSPE – Comissão de Serviços Públicos de Energia

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

GPDPMSA – Guia Prático para o Desenvolvimento do Plano Municipal de Segurança da Água

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDA – Índice de Degradação Ambiental

MDE – Modelo Digital de Elevação

MMAMC – Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas

PESB – Política Estadual de Saneamento Básico

PMSA – Plano Municipal de Segurança da Água

PNRH – Política Nacional de recursos Hídricos

PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico

PSA – Pagamento por Serviços Ambientais

SAE – Serviço de Água e Esgoto

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SRTM – Missão Topográfica Radar Shuttle

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivos Gerais	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Degradação Ambiental em bacias hidrográficas	19
3.2	Fragilidade Ambiental	25
3.3	Do Uso dos Mananciais de Abastecimento Público	30
3.4	Das Políticas de Saneamento Básico no Território Brasileiro	33
3.5	Planejamento ambiental e o uso de geotecnologias	37
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
5	METODOLOGIA	46
5.1	Cálculo do Índice de Degradação Ambiental e da Fragilidade Ambiental	48
5.2	Análise da Evolução dos Preços Praticados à População Urbana.	55
5.3	Análise da Relação de Degradação com o Custo de Serviço de Água à População	56
6	RESULTADOS	58
6.1	Índice de Degradação Ambiental e da Fragilidade Ambiental	58
6.2	Análise da Evolução dos Preços Praticados a População Urbana pelo Serviço de Água e Esgoto de Birigui - SP	80
6.3	Relação de Degradação com o Custo de Serviço de Água à População	82
6.4	Estratégias de Mitigação para Áreas Degradadas	84
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

1. INTRODUÇÃO

Estudiosos e instituições ambientalistas têm a algum tempo chamado a atenção para o desequilíbrio da relação homem-natureza pois o homem para garantir a sua sobrevivência precisa ocupar um lugar no meio ambiente. Rodrigues (1998) conceitua meio ambiente urbano como “conjunto das edificações, com suas características construtivas, sua história e memória, seus espaços segregados, a infraestrutura e os equipamentos de consumo coletivo”. Ainda de acordo com a autora, na produção do meio ambiente urbano, o homem sobrepõe-se à natureza suprimindo vegetação, impermeabilizando o solo, canalizando córregos entre outros. Sendo então a ocupação do homem no espaço geográfico, durante o processo de apropriação dos recursos naturais, o responsável por degradar os ecossistemas, alterando a qualidade do meio ambiente no processo (SANTOS E MEDEIROS, 2023)

As práticas adotadas para o uso da terra podem influenciar de maneira positiva ou negativa sobre o desempenho de suas funções, sendo o seu manejo de responsabilidade da própria população, para que se possa desenvolver suas funções ambientais, assegurando-a como fonte econômica para as futuras gerações (BONETTI E FINK, 2020). A conservação das áreas a fim de se evitar a degradação é de primordial importância para a manutenção dos ecossistemas, principalmente nas bacias hidrográficas que são utilizadas como manancial de abastecimento público dos municípios para que se possa obter uma água de boa qualidade circulando na superfície do solo para consumo humano e com menores riscos potenciais à saúde por contaminações diversas (REIS, 2004).

As atuais discussões sobre a temática ambiental apontam para as condições de uso da terra. A industrialização concentrada nos centros urbanos, a mecanização dos sistemas de agricultura baseados em monocultura, a implementação de áreas de pastagem para criação de gado, exploração de recursos naturais provocam alterações de modo irreversível levando a processos degenerativos desses ambientes (ROSS, 1994).

Dentre os principais fatores que degradam os ambientes está a intervenção humana, pois a partir dela se dá a diminuição da cobertura vegetal da área, a impermeabilização do solo, o uso dos recursos naturais como água, a poluição do ar, da água e do solo. Rogalski (2011) atribui a degradação ambiental dos mananciais de abastecimento público ao processo de urbanização dos municípios e a falta de políticas públicas de preservação e conservação desses espaços.

A relação da sociedade com o uso do solo, quando ocorre de maneira indevida, pode provocar alteração no meio hídrico, por exemplo o aumento do escoamento superficial que pode provocar processos erosivos, e o consequente assoreamento de corpos hídricos superficiais, também pode significar a diminuição da infiltração da água no solo e recarga dos aquíferos, que podem causar a diminuição da vazão dos rios e córregos (ROSSI et. al, 2012).

A bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, área de estudo deste trabalho, assim como muitas outras bacias hidrográficas utilizadas para abastecimento público no estado de São Paulo, encontra-se intensamente antropizada, com suas áreas destinadas majoritariamente a atividades de agropecuária decorrente do tipo de ocupação que ocorreu na área durante o século XX. A água bruta captada no Ribeirão Baixotes para abastecimento público no município de Birigui tem como característica marcantes a alta turbidez, presença de agrotóxicos, elevada carga orgânica, alto teor de ferro e manganês (Plano Municipal de Saneamento Básico de Birigui 2016) e abastece cerca de 50% da população de aproximadamente 118.000 habitantes do município de Birigui.

Este trabalho visa analisar o custo de água e a degradação ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes, manancial de abastecimento público do município de Birigui – SP, espera-se encontrar uma relação entre as duas variáveis, buscando saber se a degradação da bacia causou aumento na tarifa de água da população urbana.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal desse trabalho é analisar a existência de uma relação entre a degradação ambiental na bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, que serve como manancial de abastecimento públicos e os custos dos serviços de água para população urbana do município de Birigui-SP.

2.2 Objetivos Específicos

Entender como se deu o processo de degradação na bacia produzindo uma carta da fragilidade ambiental e degradação ambiental dos anos de 2016 a 2022;

Analisar a evolução dos preços praticados ao consumidor final dos anos de 2016 a 2022;

Verificar a existência de uma relação entre a degradação ambiental do manancial estudado e os preços praticados para o consumo da população urbana; e

Propor soluções para mitigar o processo de degradação ambiental na bacia visando garantir a segurança hídrica do município a longo prazo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Degradação Ambiental em bacias hidrográficas

O entendimento da questão ambiental passa pela compreensão da complexidade dos processos de produção do espaço urbano, que é marcado pela intensa intervenção humana no meio ambiente. A urbanização da sociedade no Brasil aconteceu de modo mais acelerado com o início da industrialização do país, sobretudo nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (VOLOCHKO, 2018). Parte dos problemas ambientais se relaciona ao ritmo que as cidades brasileiras se desenvolveram, o que tem motivado estudos nas temáticas de gestão, planejamento e ordenamento territorial (STANGANINI E LOLLO, 2018).

A forma como o espaço é produzido provoca diversos tipos de problemas ambientais, como a perda da vegetação natural, declínio de biodiversidade, contaminação e poluição da água e do ar, perda de terras produtivas por desencadeamento de processos erosivos, entre outros (SANTOS, 2017). Tais atividades trazem consigo impactos ambientais, que podemos definir como:

“as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - As atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente,

V - a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986)”.

A decorrência dos impactos ambientais é o que podemos chamar de degradação ambiental de um lugar e/ou região. Gomes Rubira (2016) define degradação ambiental como o conjunto de ações que provoca inúmeras modificações no meio, alterando o que chamamos de natural, acarretando na maioria das vezes graves problemas ambientais, o que torna determinado espaço em um ambiente de risco de vida para o próprio homem, que foi o

grande responsável por toda essa mudança. Já Guerra e Guerra (1997) definem degradação ambiental como mais ampla que a degradação dos solos, pois envolve não só a erosão, mas também a extinção de espécies vegetais e animais, a poluição de nascentes, rios, lagos e baías, o assoreamento e outros impactos prejudiciais ao meio ambiente e ao próprio homem.

Os processos de degradação ambiental podem causar não apenas prejuízo ambiental como também financeiros, visto que a capacidade produtiva do solo é reduzida por conta da perda de nutrientes e outros fatores, além da diminuição do volume de água que infiltra no solo, afetando a disponibilidade hídrica para plantas e animais, e o volume disponível nos aquíferos freáticos, que impacta diretamente o abastecimento público por captação subterrânea ou superficial (SILVA, 2022).

As áreas com menos cobertura vegetal acabam ficando mais suscetíveis à degradação ambiental por meio de processos erosivos que podem vir a se formar, visto que quanto menos vegetação, pode haver maior quantidade de solo exposto (OLIVEIRA et. al, 2020), tal fenômeno pode ser atribuído à falta de planejamento territorial e de gestão ambiental, que não consideram a fragilidade dos sistemas existentes (NETO E FERNANDES, 2016).

As bacias hidrográficas chamam a atenção ao uso e ocupação da terra em suas delimitações, e das interações realizadas pelos usuários dos recursos hídricos presente em seu território. Leandro e Rocha (2019) evidenciam que as transformações antrópicas realizadas nas bacias as tornam mais antropizadas, principalmente quando essas ações estão voltadas para a vegetação, quando geralmente ocorre a supressão dela, que resulta na elevação do grau de degradação ambiental das bacias, ressaltando a necessidade de recuperação e preservação da cobertura vegetal.

No processo de expansão dos perímetros urbanos, a vegetação acaba por ser removida, dando lugar a empreendimentos comerciais, imóveis residenciais, aumentando a demanda por água e por consequência, os problemas relacionados ao seu uso.

Destacam-se dentro das bacias hidrográficas, como os principais problemas enfrentados o assoreamento de a poluição de rios e córregos, o empobrecimento do solo, a aceleração dos processos erosivos, desmatamento em larga escala que ocasiona o desaparecimento de diversas espécies de árvores que são removidas e não são repostas, de animais que perdem seus habitats e precisam se deslocar para outras áreas em busca de abrigo e alimento (VIEIRA et. al, 2012).

O avanço da ocupação humana as margens dos rios e córregos, o que pode ocasionar danos a população na época chuvosa (enchentes e alagamentos), propicia o lançamento de efluentes domésticos e em algumas ocasiões efluentes industriais in natura aos corpos hídricos superficiais, o que favorece a produção de algas, a eutrofização desses ambientes, a redução do oxigênio dissolvido nas águas, podendo ocasionar a mortandade de peixes (NETO E FERNANDES, 2016). A legislação brasileira diz que o efluente deve ter qualidade igual ou superior ao corpo hídrico que irá recebê-lo, entretanto a falta de fiscalização permite que isso não seja cumprido (QUADRA et. al, 2019).

A poluição dos rios e córregos por consequência da ocupação humana é decorrente da falta de cumprimento de leis e normativas estabelecidas, como tratamento inadequado do efluentes domésticos e industriais, ineficiente gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Essa poluição é decorrente de diversas fontes como poluentes químicos, excesso de matéria orgânica, contaminação por metais pesados, fármacos, pesticidas, entre outros. Em um mundo onde a necessidade por recursos naturais como a água é crescente, não faz sentido que a cada dia tal recurso esteja mais escasso devido seu mal uso, sendo assim é necessário que reavaliemos onde e como descartamos nossos resíduos, bem como a implementação de prevenção de práticas poluidoras para minimizar os impactos causados pelas mesmas (QUADRA et. al, 2019).

Para mensurar a degradação ambiental, diversos autores criaram índices de degradação ambiental. Os índices têm a finalidade de descrever aspectos da realidade e possuem em seu cálculo embasamento científico e métodos adequados para sua execução, que ao estarem prontos forneceram material que deverá auxiliar o processo de tomada de decisão (PINTO, ROSSATO, CORONEL, 2019).

O Quadro 1, apresenta alguns trabalhos desenvolvidos com o objetivo de mensurar a degradação ambiental das respectivas áreas de estudo.

Quadro 1: Estudos Empíricos de Índices de Degradação Ambiental

Região do Estudo	Método Utilizado	Principais Resultados	Referência
Estados da Região Nordeste	Análise fatorial, construção de índices e análise de regressão.	Mais da metade dos municípios possuem mais de 80% de degradação. A Bahia é o Estado mais degradado, com ID de 84,36% enquanto Pernambuco apresenta o menor ID da região, 72,54%. Verifica-se o alto grau de degradação da região devido a questões climáticas e sociais	Lemos (2001)
Municípios do Acre	Análise fatorial, construção de índices e análise de regressão e análise de cluster	A degradação média dos municípios foi de 30,74%. Alguns municípios possuem valores iguais ou próximos a zero enquanto outros possuem IDs maiores que 60%. O estado do Acre possui um bom estado de conservação ambiental, contrastando com algumas regiões de elevada degradação.	Silva e Ribeiro (2004)
Municípios de Minas Gerais	Análise fatorial, construção de índices e análise de regressão e análise de cluster	A degradação média dos municípios foi de cerca de 86%. Verifica-se que 40% dos municípios chegaram ao valor máximo de ID, isto é, 1. De maneira contrária, algumas regiões apresentaram valor do índice muito próximo a zero. A forma intensiva como é alavancado o desenvolvimento do Estado é apontada como a maior responsável pela elevada degradação ambiental.	Fernandes, Cunha e Silva (2005)
Microrregiões do Cerrado Brasileiro	Análise fatorial, construção de índices	Os níveis de degradação apresentaram-se desiguais entre as regiões estudadas. Os maiores níveis de degradação foram das regiões Noroeste de Minas Gerais, Sul de Goiás e Sudeste de Mato Grosso. Já os menores valores de índice foram das regiões do Piauí, Maranhão e Tocantins.	Cunha et. al (2008)
Municípios da Bahia	Análise fatorial, construção de índices e análise de regressão e análise de cluster	Os municípios baianos demonstram heterogeneidade quanto ao fenômeno da degradação ambiental. Enquanto a Região Central do Estado possui um baixo padrão de degradação de seus municípios, as mesorregiões Centro Sul e Sul apresentam elevado nível de degradação ambiental.	País, Silva e Ferreira (2012)

Quadro 1: Estudos empíricos de degradação ambiental (continuação).

Municípios e Mesorregiões do Rio Grande do Sul	Análise fatorial, construção de índices e análise de regressão	O valor médio da degradação ambiental dos municípios gaúchos é de 62,95%. Esse valor é de alta representatividade e demonstra que mais da metade do território gaúcho enfrenta problemas relacionados à degradação ambiental. Muitos municípios apresentam 100% com relação ao Índice de Degradação. Estes possuem ligação direta com a atividade agropecuária, confirmando a participação desta atividade no agravamento do fenômeno. Além disso, as regiões mais degradadas do Estado fazem parte das mesorregiões menos desenvolvidas, vindo a confirmar a premissa de que a degradação ambiental tem relação direta com o desenvolvimento socioeconômico.	Pinto e Coronel (2014)
Mesorregiões e Estados do Brasil	Análise fatorial, construção de índices e análise de regressão	O Índice de Degradação no país foi de aproximadamente 57%, valor que demonstra que mais da metade do território nacional é degradado. As regiões Norte e Centro-Oeste são as mais degradadas do país. Esses resultados corroboram a premissa de que regiões com maiores níveis de pobreza são mais degradadas, caso da Região Norte. Além disso, outra premissa, de que a degradação ambiental sofre influência direta das atividades agropecuárias, também se confirma, caso da região Centro-Oeste.	Pinto, Coronel e Conte (2014)
Municípios e Mesorregiões do Paraná	Análise fatorial, construção de índices	O valor médio da degradação ambiental dos municípios paranaenses é de 67,76%. Esse valor demonstra que mais da metade do território paranaense enfrenta problemas relacionados à degradação ambiental. No que tange aos municípios, verifica-se que muitos deles apresentam valor máximo para o índice, com a maioria apresentando ligação direta com a atividade agropecuária, confirmando a participação dessa atividade no agravamento do fenômeno.	Pinto, Lopes e Coronel (2014)

Quadro 1: Estudos empíricos de degradação ambiental (continuação).

Municípios e Mesorregiões de Santa Catarina	Análise fatorial, construção de índices	O valor médio do índice de degradação foi de 47,38%, valor considerado baixo se comparado com outros Estados brasileiros. Com relação às mesorregiões, nota-se que a região Serrana foi a mais degradada. Em contrapartida, a região do Vale do Itajaí foi de menor degradação. Observou-se que para o Estado de Santa Catarina, existe homogeneidade do padrão de degradação, sendo que o desgaste dos recursos hídricos foi o fator preponderante em todas as mesorregiões.	Pinto, Coronel e Conte (2015)
---	---	---	-------------------------------

Fonte: Pinto, Rossato e Coronel (2019)

Nota-se que os trabalhos acima elencados abarcam uma série de procedimentos semelhantes, baseados em análise fatorial e construção de índices de degradação para retratar a problemática oriunda de tal fenômeno, que como pode ser visto, está presente em todas as regiões do país.

Há também trabalhos, como este próprio, que levam em consideração uma análise multivariada de características físicas da área de estudo. De acordo com Brandão (2005), um índice de degradação ambiental:

É um modelo desenvolvido a partir dos conceitos de Ecodinâmica, já elaborado por Tricart (1977), e também dos métodos de classificação ambiental formulados por Ross (1994) com o Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio as classes de declividade e o Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nos Índices de Dissecção do Relevo, além do método elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, denominando de Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio as unidades territoriais básicas. (BRANDÃO, 2005, p.110)

Com base nos estudos que levaram em considerações as variáveis físicas da área de estudo, podemos citar Rogalski (2011) que estudou a degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Olarias, no município de Ponta Grossa – PR, encontrando a área de estudo em situação subcrítica (44%) e crítica (20%). Kazmierczak e Seabra (2011), que estudou a degradação ambiental na região de São Carlos – SP, encontrou uma área muito antropizada (82%) com pouca vegetação original preservada (11% de cerrado e 6,50% de mata-galeria). As áreas de susceptibilidade a degradação ambiental classificadas em alta e

muito alta somaram 19%, enquanto as áreas de baixa e muito baixa susceptibilidade somaram 59%.

A degradação ambiental dos ecossistemas está presente em todos os lugares, em alguns lugares aparece de maneira mais crítica, enquanto em outros, mais branda, sendo uma problemática que necessita de atenção e desenvolvimento de estudos no sentido de identificação, quantificação e mitigação das áreas identificadas como degradadas.

3.2 Fragilidade Ambiental

Em virtude das ações antrópicas no meio, a fragilidade ambiental pode ser maior ou menor em função de suas características. Ambientes naturais tendem a se mostrar em estado de equilíbrio dinâmico, até o ponto que as sociedades passam a explorar os recursos naturais daquele local (ROSS, 1994).

Utilizando o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1997)*, Ross (1994) propõe uma metodologia de Análise Empírica de Ambientes Naturais e Áreas Antropizadas, com o objetivo de fornecer subsídio a futuros estudos integrados que por sua vez subsidiarão o processo de planejamento territorial ambiental (MOROZ-CACCIA GOUVEIA E ROSS, 2019). Em sua metodologia, o autor utiliza uma combinação de atributos físicos (solo, clima, geologia, geomorfologia, relevo e cobertura vegetal) tendo como resultado uma região com diferentes níveis de fragilidade ambiental (CAVALCANTE et. al, 2022).

De acordo com Kawakubo et. al (2005), denomina-se Fragilidade Potencial a vulnerabilidade natural do meio à ocorrência de processos erosivos e Fragilidade Emergente a vulnerabilidade natural do ambiente associados aos graus de proteção que as diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal exercem. A sistematização das categorias de fragilidade ambiental expressa a relação aos processos erosivos causados pelo escoamento

* Tricart (1997) classifica três tipos de meios morfodinâmicos: (1) meios estáveis, que apresentam cobertura vegetal e não há intervenção antrópica, com presença de processos de pedogênese; (2) meios integrardes, que são áreas de transição entre meios estáveis e instáveis, que possuem processos de pedogênese e morfogênese; (3) fortemente instáveis, onde há a predominância de processos de morfogênese como consequência da degradação antrópica (Cavalcante et. al, 2022).

superficial das águas pluviais no meio, sendo expressos por códigos: Muito Fraca (1), Fraca (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5) (Gonçalves et. al, 2016).

O relevo dificulta ou favorece o uso e a ocupação da terra, pode ser um empecilho para a construção de grandes obras de engenharia como estradas, aeroportos entre outros, entretanto, pode facilitar a delimitação de fronteiras entre municípios, estados e países, além da exploração turística de regiões de grande beleza cênica (FLORENZANO, 2008).

Em frente aos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio encontrados, a necessidade de se estudar a fragilidade ambiental se mostra cada vez mais indispensável para o auxílio na tomada de decisão no planejamento ambiental, como na elaboração do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) por exemplo (KAWAKUBO et. al, 2005).

A transformação de ambientes naturais em áreas antropizadas, aliado a pouca consciência ambiental e a falta de planejamento dos poderes legislativo e executivo das três esferas de governo colocam em risco a qualidade ambiental dos ecossistemas em todo o território nacional. O aumento dessa antropização causa diversos graus de impacto ambiental se considerado as características intrínsecas aos ecossistemas (VIEIRA et. al, 2016).

É preciso entender a relação sociedade-natureza e as trocas energéticas que ali ocorrem, também é necessário que se conheça a potencialidade dos recursos naturais que dão suporte a vida animal e do próprio homem (ROSS, 1994). Quanto maior o grau de fragilidade apresentado por uma área, maior é a antropização ocorrida ali, em contrapartida, quanto mais preservada a região se mostra, menor o grau de fragilidade encontrado. Áreas de mineração, uso agrícola, pecuária, uso industrial possuem grau de fragilidade maior que áreas com cobertura vegetal densa.

O mapeamento das fragilidades, realizado através dos softwares de sistemas de informação geográfica (SIG), permite realizar uma avaliação das potencialidades do meio de maneira integrada (KAWABUCO et, al, 2005). As sucessivas revoluções técnico-científicas ocorridas ao longo do século XX, trouxeram avanços significativos nos meios tecnológicos que dão subsídios às análises realizadas através dos SIG fossem mais rápidas, eficazes e com maior riqueza de detalhes. Segundo Guirra et. al (2016) o avanço dos sistemas SIG tem permitido uma maior manipulação de dados de maneira integrada, facilitando a geração de informações intermediárias ou finais, e a adição de informações antes não contempladas.

O Quadro 2 apresenta uma síntese de alguns estudos sobre fragilidade ambiental em diferentes áreas do país

Quadro 2: Estudos sobre fragilidade ambiental em bacias hidrográficas.

Autor	Ano	Metodologia	Área de Estudo	Principais Resultados
Kawakubo et. al	2005	A primeira combinação de mapas utilizou um operador booleano AND e foram geradas duas classes: verdadeira e falsa. A classe verdadeira se restringiu a selecionar áreas que possuíam fragilidade muito fraca, fraca e média (códigos 1, 2 e 3) O segundo mapa utilizou ferramentas da tabela de dupla entrada, no qual as combinações são realizadas de forma pareada, cujas seguintes regras foram estabelecidas quando duas classes possuem o mesmo grau de fragilidade ele se mantém, quando o grau é diferente, mantém-se o maior grau.	Bacia hidrográfica do córrego Onofre, município de Atibaia - SP	Booleano Verdadeira 21% Falsa 79%
				Tabela Muito Fraca 8% Fraca 1% Média 12% Forte 43% Muito Forte 40%
Gonçalves et. al	2011	Modelo de fragilidade potencial com apoio nas classes de declividade (Ross, 1994), com uso do software Spring e da Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) e operações de análise geográfica	Bacia hidrográfica do rio Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul	Fragilidade Potencial Muito Fraca 0,6% Fraca 67,7% Média 31,1% Alta 0,7%

Quadro 2: Estudos sobre fragilidade ambiental em bacias hidrográficas (continuação).

Stoqui, V B	2018	Fragilidade do Relevo Fragilidade da declividade (50%) + fragilidade da curvatura do terreno (50%) Fragilidade Ambiental Fragilidade do relevo (34%) + fragilidade dos solos (33%) + fragilidade do uso e ocupação da terra (33%)	Bacia hidrográfica do córrego da Cascata, Presidente Prudente - SP	Fragilidade Potencial Muito Fraca 0 % Fraca 20% Média 74% Forte 6% Muito Forte 0%
				Fragilidade Emergente (km²) Muito Fraca 0,09 % Fraca 18,36% Média 74,97% Forte 6,56% Muito Forte 0,02%
Moroz-Caccia Gouveia e Ross	2019	A) Utilizando parâmetros morfológicos extraídos do mapa geomorfológico elaborado analogicamente e parâmetros morfométricos (declividade) conforme recomendado por ROSS (1994) B) Utilizando apenas as classes de declividades (parâmetros morfométricos) como tem sido aplicado por diversos autores C) Utilizando parâmetros morfológicos extraído automaticamente de MDE e parâmetros morfométricos (declividade)	Porção norte do município de Presidente Prudente - SP	Fragilidade Potencial (km²) Baixa 14/14/12 Média 12/51/25 Alta 40/08/25 Muito alta 6/0/12
				Fragilidade Emergente (km²) Baixa 0/2/0 Média 18/26/18 Alta 47/43/48 Muito alta 8/0/8

Quadro 2: Estudos sobre fragilidade ambiental em bacias hidrográficas (continuação).

Vagula, P R	2019	Metodologia proposta por Ross (1994) com as devidas adequações para a área de estudo embasada em Moroz-Caccia Gouveia (2015)	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Mandaguari, oeste do Estado de São Paulo	Fragilidade Potencial Fraca 4,8% Média 54,6% Alta 37,6% Muito Alta 0,81% Restrito 2,2%
				Fragilidade Emergente (km²) Baixa 0/2/0 Média 18/26/18 Alta 47/43/48 Muito alta 8/0/8
Cavalcante et. al	2022	Adaptação de “Análise empírica de fragilidade física de ambientes naturais e antropizados” (Ross, 1994) e “Vulnerabilidade à perda de solo” (Crepani et. al, 2001)	Bacia hidrográfica do rio Mocajuba, Estado do Pará	Fragilidade Potencial Baixa 19,92% Média 76,67% Alta 3,41%
				Fragilidade Emergente Baixa 18,39% Média 67,57% Alta 14,04%

Organizado pelo autor.

Nota-se que os estudos elencados acima utilizam em sua maioria a metodologia proposta Ross (1994) em “Análise empírica de fragilidade física de ambientes naturais e antropizados”, porém a execução ocorreu em softwares SIG diferentes, e quando houve necessidade, realizaram adaptação da metodologia.

3.3 Do Uso dos Mananciais de Abastecimento Público

Desde o início do século XX, o Brasil mostra-se preocupado com a preservação e a conservação dos seus recursos naturais como a água por exemplo, uma das provas dessa preocupação é o Código das Águas, instituído pelo Decreto Federal nº24.643, de 10 de julho de 1934, que dotava o país de uma legislação adequada de controle e incentivo do aproveitamento industrial das águas.

A CETESB “Águas Interiores – Histórico da legislação hídrica no Brasil” (CETESB, acesso em agosto/2023), destaca que foi a partir desse decreto de 1934, a criação de alguns dispositivos que possibilitam o trabalho com os instrumentos de gestão para a cobrança pelo uso da água, como:

“Do Aproveitamento das águas:

(Artigo 36 – Parágrafo 2º) “o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencem.”

Da Derivação das águas:

(Artigo 43) “As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade e, não se verificando de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes.”

(Artigo 139) “O aproveitamento industrial das quedas de água e outras fontes de energia hidráulica, quer do domínio público quer do domínio particular, far-se-á pelo regime de autorizações e concessões instituídos neste Código.”

Posteriormente, este procedimento evolui para o sistema de outorga e licenciamento ambiental integrado.

Da Fiscalização:

(Artigo 178) “No desempenho das atribuições que lhe são conferidas, o Serviço de Águas do Departamento Nacional da Produção Mineral, com

aprovação prévia do Ministro da Agricultura, regulamentará e fiscalizará o serviço de produção, transmissão, transformação e distribuição da energia hidroelétrica.” (CETESB, acesso em 31 de agosto de 2023)”

Por meio da aprovação da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), e substitui o Código das Águas após mais de 63 anos de sua criação.

A agência The Nature Conservancy (acesso em agosto de 2023) diz que o “objetivo geral da lei foi estabelecer um pacto nacional com a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em qualidade e quantidade”, isso resultaria em melhor gerenciamento do bem que é essencial e estruturante de vários setores econômicos do país, e que auxiliaria na implementação de políticas setoriais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a inclusão social.

Alves, Silva e Brugnolli (2021) citam que os três pilares basilares da PNRH (gestão das bacias hidrográficas; descentralização das tomadas de decisões; e a aplicação dos fundamentos usuário/pagador) presentes na PNRH trouxeram um avanço na questão jurídico-ambiental do país, que possuía um cenário obscuro ao início do século XXI, que inevitavelmente traria a diminuição da qualidade da água para os usuários, o que causaria conflitos e seria necessário uma intervenção estatal para solucionar os problemas gerados.

O Estado de São Paulo, por meio da Lei Estadual nº 9.866, de 28 de novembro de 1997, busca proteger e recuperar as bacias hidrográficas e mananciais de interesse do estado, estabelecendo normas e diretrizes para a conservação da qualidade ambiental dessas áreas. A lei define manancial de interesse regional as águas interiores subterrâneas, superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público. Tendo os seus objetivos dispostos no art. 2º:

“Art. 2º. São objetivos da presente lei:

I. preservar e recuperar os mananciais de interesse regional no Estado de São Paulo;

II. compatibilizar as ações de preservação dos mananciais de abastecimento e as de proteção ao meio ambiente com o uso e ocupação do solo e o desenvolvimento socioeconômico;

III. promover uma gestão participativa, integrando setores e instâncias governamentais, bem como a sociedade civil;

IV. descentralizar o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas desses mananciais, com vistas à sua proteção e à sua recuperação;

V. integrar os programas e políticas habitacionais à preservação do meio ambiente.

Parágrafo único. As águas dos mananciais protegidos por esta lei, são prioritárias para o abastecimento público em detrimento de qualquer outro interesse; (São Paulo, 1997)”

Para isso, a chamada Lei dos Mananciais visa a criação de Áreas de Proteção de e Recuperação de Mananciais (APRM), podendo conter uma ou mais sub-bacias, que se constituem por áreas protegidas que devem ser geridas por órgãos colegiados, como o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) ao qual a APRM pertence, órgão técnicos e órgãos públicos, cabendo aos órgãos gestores a elaboração Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) da área.

Rosin (2019) afirma que o modelo de gestão implantado pela Lei Estadual nº9.866/1997 não somente passou a adotar a bacia hidrográfica como unidade de intervenção, como também previu a adoção de instrumentos de caráter urbano-ambiental, visando à recuperação das áreas degradadas. As primeiras APRMs criadas foram a APRM Guarapiranga e a APRM Billings, ambas ao sul da região metropolitana da capital paulista.

Atualmente as APRM existentes encontram-se apenas na área de atuação do CBH-Alto Tietê, na região metropolitana de São Paulo, sendo elas a APRM Guarapiranga, Billings, Alto Juquity, Alto Tietê Cabeceiras e Alto Cotia (São Paulo, acesso em agosto de 2023).

No município de Birigui – SP, abastecido pelo Ribeirão Baixotes, existe a Lei Municipal nº 7.274, de 12 de junho de 2023, que dispõe sobre a criação do sistema municipal de preservação ambiental de recursos em área de captação de água do município de Birigui. Com o objetivo de preservar a vegetação natural existentes, a lei prevê uma área de preservação no entorno de 210 a 300 metros a partir das bordas do reservatório de captação de água.

3.4 Das Políticas de Saneamento Básico no Território Brasileiro.

Da preocupação, em esferas federais, estaduais e municipais em se combater doenças, possibilitou a articulação das três esferas de governo para o desenvolvimento de uma colaboração sanitária.

Das ações do Governo Federal e do Governo do Estado de São Paulo, foram elaboradas a Política Nacional e a Política Estadual de Saneamento Básico (PESB), nos anos de 2007 e 1992 respectivamente.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) define saneamento básico como:

“I - Saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020)

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição; (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020)

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente; (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020)

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020)

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais,

transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes; (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020) (Brasil, 2007)”

Sendo um direito universal ao acesso e a efetiva prestação do serviço, entretanto esse tipo de serviço ainda está longe de ser oferecido a todos os brasileiros e os desafios para suprir essa necessidade se mostram em diversas faces, seja pela dificuldade de financiamento, de gestão, de participação e controle social, as fragilidades do aparato estatal (Borja, 2014)

De acordo com a Agência Nacional de Águas “O saneamento no Brasil” (ANA, acesso em agosto de 2023) 175,5 milhões de brasileiros têm acesso à água tratada, enquanto outros 114,6 milhões contam com coleta e tratamento de esgoto em suas residências. Além disso, 190,9 milhões de pessoas contam com coleta e manejo de resíduos sólidos urbanos, esses dados podem ser analisados por região na Tabela 1:

Tabela 1: Acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil.

	Abastecimento de água	Esgotamento sanitário	Manejo de resíduos sólidos urbanos	Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas
	(% pop. total)	(% pop. total)	(% pop. total)	(% domicílios em situação de risco de inundação)
Brasil	84,1	55,0	90,5	3,9
Norte	58,9	13,1	80,7	4,0
Nordeste	74,9	30,3	83,1	4,1
Sudeste	91,3	80,5	96,1	4,1
Sul	91,0	47,4	91,5	4,1
Centro-Oeste	90,9	59,5	91,3	4,1

Fonte: ANA, Acesso em agosto de 2023

A Tabela 1 mostra que as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste tem os melhores índices em relação a prestação de serviços de saneamento básico, mas para garantir a universalização do acesso ao saneamento é necessário que, em todas as regiões, esse número chegue a 100%, que então indicará que todos os habitantes são atendidos por serviços de água tratada, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos urbanos adequados.

A PNSB passou por uma atualização no ano de 2020, quanto foi publicado o Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, instituído pela Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020.

O Estado de São Paulo, por meio da Lei Estadual nº 7.750 de 31 de março de 1992, institui a sua própria Política Estadual Saneamento Básico, que anos depois foi atualizada pela Lei Estadual nº 1.025, de 07 de dezembro de 2007.

As duas legislações citadas até agora possuem muitas particularidades, enquanto a PNSB dispõe de diretrizes para o sistema de saneamento básico para os estados contemplando princípios, definições, titularidade, entre outros, a PESB (nas leis 7.750/1992 e 1.025/2007) contempla a organização do sistema de saneamento básico do Estado, como a transformação da Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE) em Agência Regulamentadora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP), as atribuições do Conselho Estadual de Saneamento (CONESAN), entre outras tratativas.

O município de Birigui possui Política Municipal de Saneamento Básico, instituída pela Lei Municipal nº 6.436, de 06 de outubro de 2017, desta lei, podemos destacar as estruturas do Sistema Municipal de Saneamento:

“ART. 11. O Sistema Municipal de Saneamento Básico de Birigui fica definido como o conjunto de agentes institucionais que no âmbito das respectivas competências, atribuições, prerrogativas e funções, integram-se, de modo articulado e cooperativo, para a formulação das políticas, definição de estratégias e execução das ações de Saneamento Básico.

ART. 12. O Sistema Municipal de Saneamento Básico é integrado pelos seguintes órgãos:

- I. Secretaria Municipal de Serviços Públicos, Água e Esgoto;
- II. Secretaria Municipal de Saúde;
- III. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentado;

IV. Secretaria Municipal de Educação;

V. Secretaria Municipal de Obras.

ART. 13. O Sistema Municipal de Saneamento Básico de Birigui contará com os seguintes instrumentos e ferramentas de gestão:

I. Conselho Gestor do Saneamento Básico;

II. Fundo Municipal de Saneamento Básico;

III. Plano Municipal de Saneamento Básico;

IV. Fórum de Saneamento Básico e Meio Ambiente de Birigui;

V. Sistema Municipal de Informações em Saneamento. (Birigui, 2017)”

O município de Birigui também possui Plano Municipal de Saneamento Básico elaborado no ano de 2016, por empresa privada, previsto pela Política Municipal de Saneamento Básico. O documento traz em seu corpo o diagnóstico da situação atual do saneamento básico, bem como a formulação de programas projetos e ações em saneamento, e a definição de mecanismo e procedimentos para a avaliação das ações propostas no plano.

Atualmente os serviços de água e esgoto prestados à população são geridos pela Prefeitura Municipal de Birigui, por meio do Serviço de Água e Esgoto, um órgão municipal que é responsável pela administração da Estação de Tratamento de Água (ETA) e a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do município.

O sistema de tratamento de água conta com tratamento voltado para água que é captada superficialmente, portanto passa por um sistema de adição de floculador, após essa etapa, a água passa por chicanas onde o produto adicionar vai flocular os sólidos em suspensão presentes na água captada, em seguida, é enviado ao tanque de decantação onde os sólidos são separados da água por ação da gravidade, então a água passa pelo processo de filtração para remoção dos sólidos que não foram retirados nas etapas anteriores, e para a finalização do tratamento há as fases de cloração, para remoção de micro-organismos patogênicos, e a fluoretação, então a água é encaminhada para a reservação e posterior distribuição à população.

O sistema de tratamento de esgotos do município é realizado por meio do sistema de lagoas de estabilização, este sistema conta com 5 tanques de decantação, sendo 2 deles destinados a decantação anaeróbia, e 3 para decantação aeróbia, e estes possuem sistema de

aeração mecânica para auxiliar na oxigenação dos efluentes domésticos em tratamento, após tratado, o efluente é despejado em um afluente do Ribeirão Baixotes.

3.5 Planejamento ambiental e o uso de geotecnologias

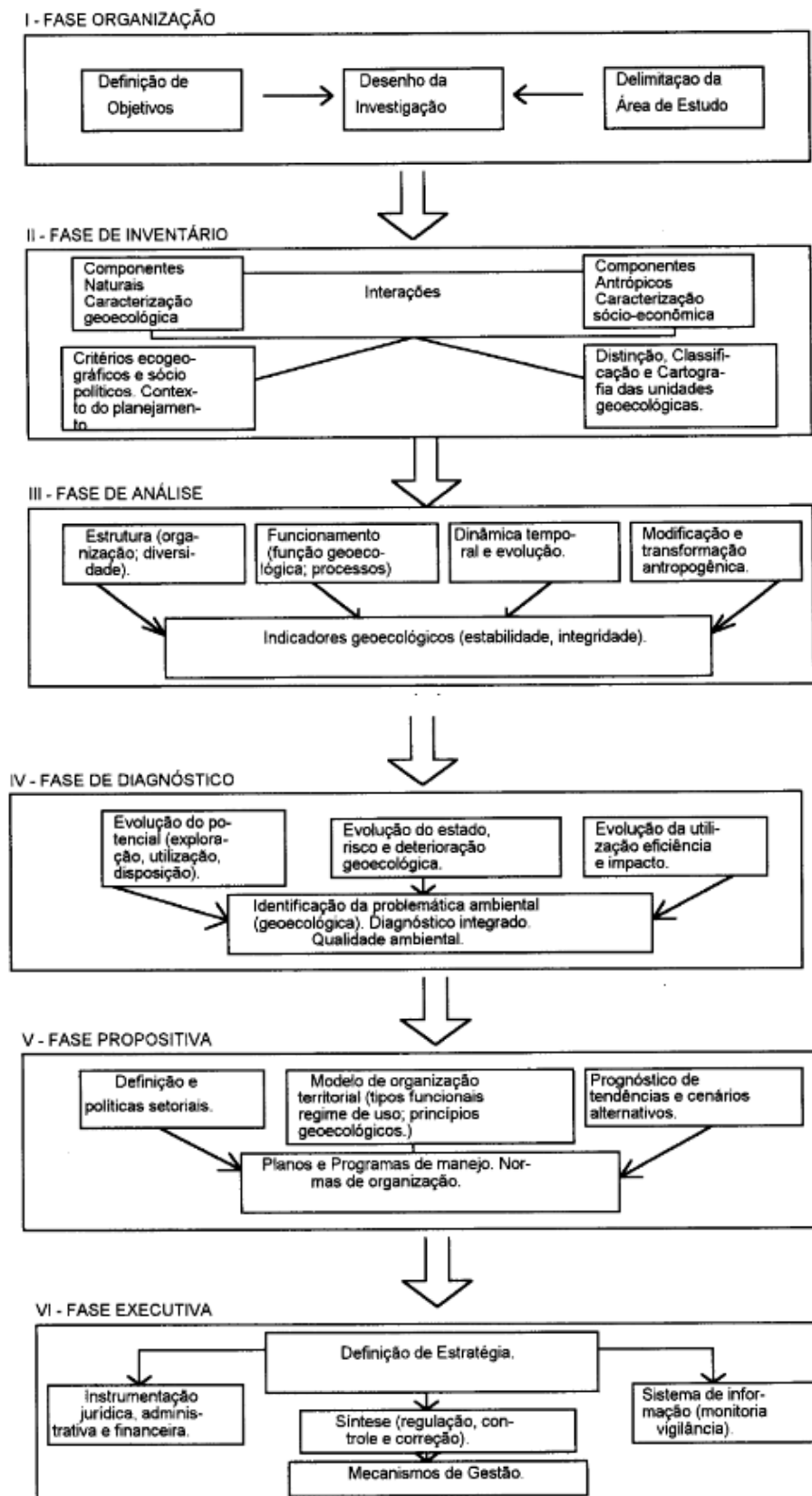
O sensoriamento remoto é a ciência da aquisição de dados da superfície terrestre realizados a distância por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas e satélites que orbitam a Terra. Atualmente a Geomorfologia possui uma gama variada de dados e técnicas de sensoriamento remoto que fornecem níveis de informação nunca vistos, com a melhoria da qualidade das imagens obtidas pelos sensores é possível estudar, medir e mapear uma variedade de fenômenos com maior rapidez e precisão (FLORENZANO, 2008).

A intensa demanda pela exploração econômica de recursos naturais energéticos e matérias-primas como o petróleo, o carvão mineral, os recursos hídricos e minérios em geral tem alterado de modo irreversível o planeta e levado a processos degenerativos profundos dos ambientes naturais com frequência (ROSS, 1994).

A necessidade por garantir acesso aos recursos hídricos para as futuras gerações, o que demanda planejamento que vise garantir a conservação e preservação do recurso tão estimado a sobrevivência humana. O planejamento ambiental possibilita a análise integrada do ambiente, que parte de execução de etapas que vão desde o levantamento de informações, até a sistematização e análise dos dados obtidos visando garantir a preservação e a conservação do ambiente, principalmente no caso das bacias hidrográficas, onde os cursos d'água vem sofrendo constantes degradações por ações antrópicas (TROMBETA E LEAL, 2016).

Rodriguez (1994) propõe o planejamento ambiental composto por 6 fases, visto na Figura 1, sendo a primeira a Fase de Organização, em seguida a Fase de Inventário, a Fase de Análise, a Fase de Diagnóstico, a Fase Propositiva e por fim a Fase Executiva.

Figura 1: Fases do planejamento ambiental



Fonte: Rodriguez, 1994

Dado um primeiro momento, o planejamento ambiental é pensado como uma ferramenta de melhoria da qualidade de vida da população (LEAL, 1995) que para se tornar real, é necessário que sejam incorporados outros facilitadores, como os mecanismos de governança, de gestão e controle social, tornando-se uma ferramenta do Estado e da Sociedade para organização, gestão e controle (SILVA E RODRIGUEZ, 2013).

De acordo com Silva e Rodriguez (2013) o planejamento pode se tornar o norteador metodológico para o ordenamento territorial onde unidades paisagísticas, geoecossistemas e bacias hidrográficas devem tornar-se objetos de gestão ambiental de caráter participativo e democrático, construído para introduzir modos e mecanismos rumo a um desenvolvimento econômico sustentável das sociedades.

Com o desenvolvimento tecnológico que a sociedade vem passando, surgiram alguns recursos que auxiliam no planejamento ambiental, a utilização das ferramentas de geoprocessamento para a realização das análises ambientais facilita o processo, pois especializa e quantifica as variáveis físicas, possibilitando a manipulação das informações favorecendo a obtenção de mapas síntese e na tomada de decisão referente a questões ambientais (CARVALHO FILHO E XAVIER DA SILVA, 1995).

As geotecnologias podem ser caracterizadas por tecnologias de alimentação tratamento e uso de dados geográficos (CARVALHO, PINA, SANTOS, 2000) utilizadas por meio de *hardwares* e *softwares* de computadores.

As geotecnologias tomam um papel de importância para o desenvolvimento de estudos em diferentes áreas, fato que se evidencia pela variedade de trabalhos de sua aplicação em diferentes ramos da ciência, inclusive aspectos ambientais (FLORENZANO, 2002), a tomada de informações deve levar em consideração os objetivos e as características da área de estudo (FLORENZANO, 2008)

A aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento podem ser utilizados na elaboração do zoneamento ecológico-econômico de um município. Essas ferramentas aliadas a um banco de dados adequado podem ser utilizadas não somente pela gestão pública, mas por agentes econômicos e até mesmo os próprios cidadãos (FLORENZANO, 2008)

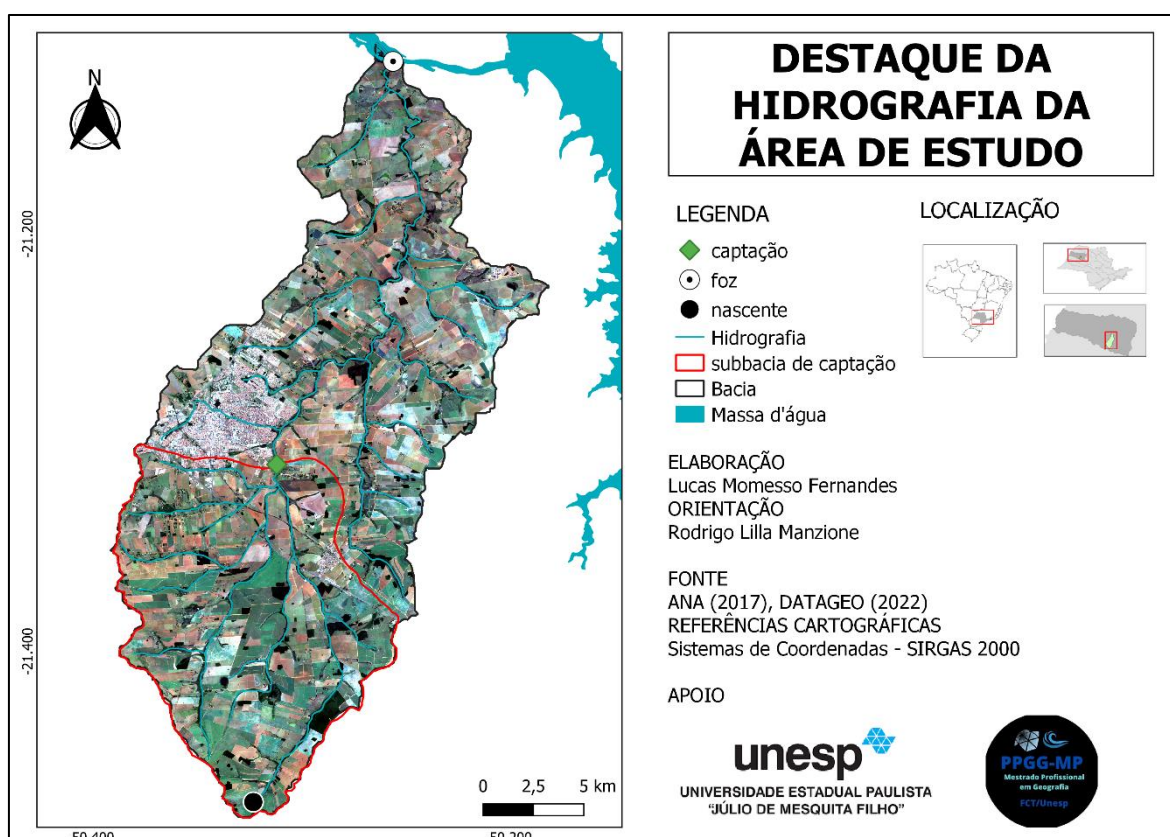
Com o levantamento correto de dados e informações, pode-se afirmar que, o geoprocessamento no planejamento da unidade de conservação mostra-se eficaz tanto como instrumento auxiliar na delimitação e estabelecimento das zonas, quanto no planejamento e manejo das atividades previstas para a reserva biológica (MAGANHOTTO et. al, 2017).

As ferramentas e técnicas de geotecnologias possuem ilimitados fins, e se utilizados em conjunto, complementam um ao outro. Suas utilizações permitem ao usuário a aquisição de informações que permitem subsidiar o manejo das unidades de conservação (DIAS E FIGUEIROA, 2020).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste projeto é a bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, localizada entre os paralelos 21° 10' S e 21° 50' S, e os meridianos 50° 40' E e 50° 20' E, distribuída em 3 municípios do estado de São Paulo, tendo suas nascentes e parte de seu leito no município de Coroados, e o restante de seu curso até a sua foz no rio Tietê, delimitando os municípios de Birigui e Brejo Alegre, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2: Localização da nascente, ponto de captação e foz do ribeirão Baixotes.



Em relação ao padrão de drenagem apresenta-se como sinuoso. A vegetação da área pertence ao bioma Mata Atlântica, caracterizado por formações florestais nativas (Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual), e ecossistemas associados (manguezais, vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste) (MMAMC, “Mata Atlântica”, acesso em setembro de 2023).

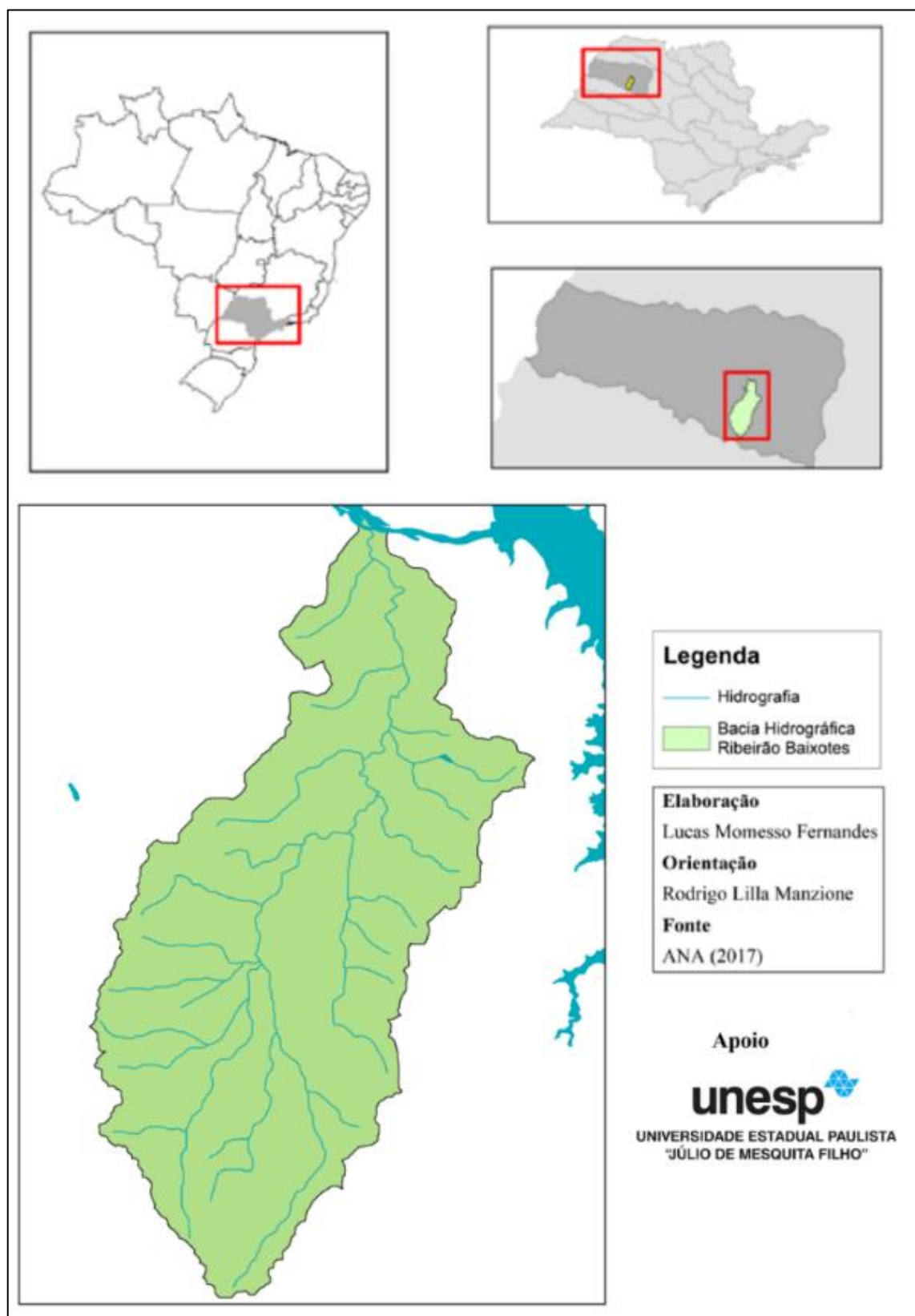
O clima da região, de acordo com a classificação climática proposta por Koppen é Aw pois tem uma temperatura média de 23,6 °C com uma pluviosidade média anual de 1376 mm.

O solo da bacia hidrográfica é composto em sua maioria de latossolo vermelho eutrófico/distrófico muito profundo com textura argilosa e muito argilosa, argissolo vermelho amarelo eutrófico profundos com textura arenosa média e algumas manchas de gleissolos háplico distróficos pouco profundos (São Paulo, 2017).

Na região há predominância de formações geológicas do tipo Formação Serra Geral (K1_beta_sg) e Formação Vale do Rio do Peixe (K2vp) (São Paulo, “Datageo Ambiente”, acesso em outubro de 2023).

Para fins de gestão de recursos hídricos, a bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes, está localizada na região noroeste do estado de São Paulo, na UGRHI 19 – Baixo Tiete, conforme demonstrado na Figura 3.

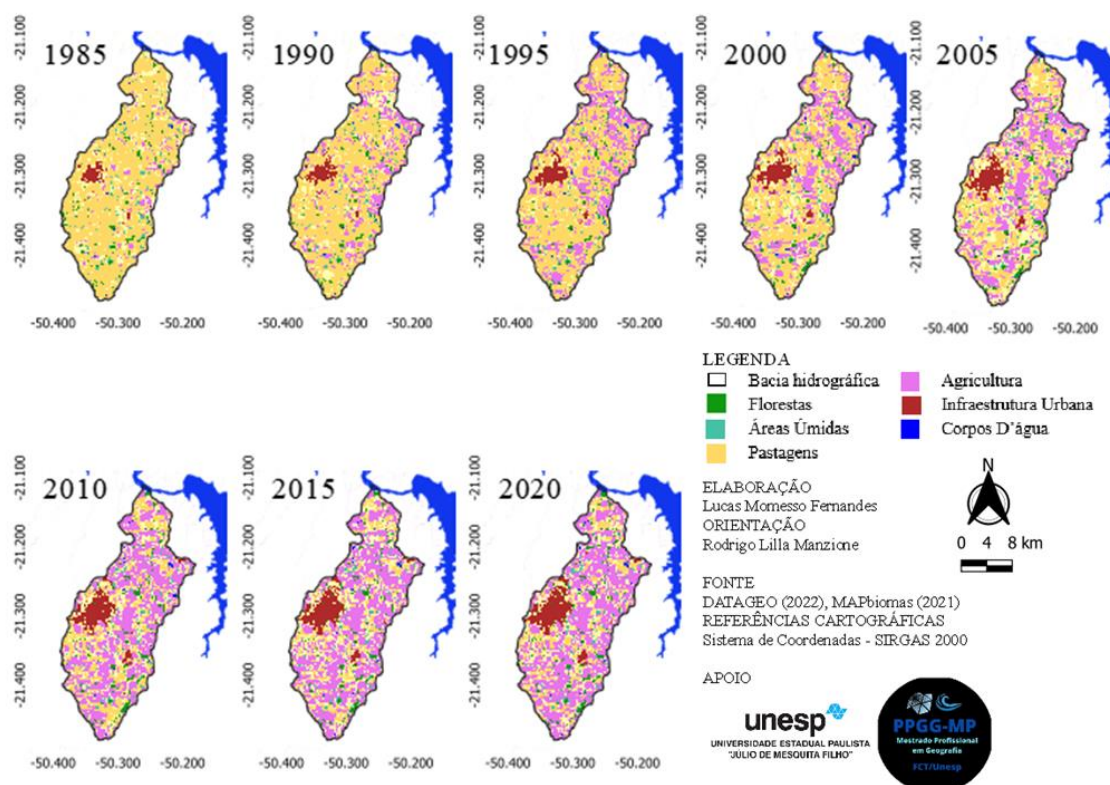
Figura 3: Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes



O Ribeirão Baixotes é afluente do Rio Tietê em seu baixo curso, que por sua vez é um dos principais afluentes do Rio Paraná no estado de São Paulo, estando a uma altitude cujos pontos altimétricos variam entre 320 m até 480 m, indica uma bacia com poucas variações altimétricas, a área de estudo possui cerca de 492 km², o comprimento total da rede de drenagem tem aproximadamente 190 km de extensão.

Como pode se observar pela Figura 4, desde 1985 a bacia já possuía pouca vegetação arbórea e era majoritariamente ocupada por pastagens, no decorrer dos anos as pastagens deram lugar a agricultura, que ocupa a maior parte da bacia atualmente.

Figura 4: Evolução do uso e ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes



Cabe citar aqui que todos os municípios pertencem a região administrativa de Araçatuba, localizada ao noroeste do estado de São Paulo, na mesorregião de mesmo nome, e na microrregião de Birigui.

Os municípios de Birigui e Coroados surgiram a partir da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, sendo Birigui fundada no ano de 1911 e Coroados, sendo um distrito do município

de Birigui, criado no ano de 1925 e elevado a nível de município a no ano de 1928, Brejo Alegre foi inicialmente criado como um distrito de Coroados, sendo sua emancipação a município realizada recentemente, no ano de 1993 (IBGE, acesso em outubro de 2023), a maior população é de Birigui, com mais de 93% dos habitantes existentes na bacia, a Tabela 2 apresenta a população de cada um dos municípios segundo o último Censo Demográfico do IBGE realizado no ano de 2022.

Tabela 2: População dos municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes.

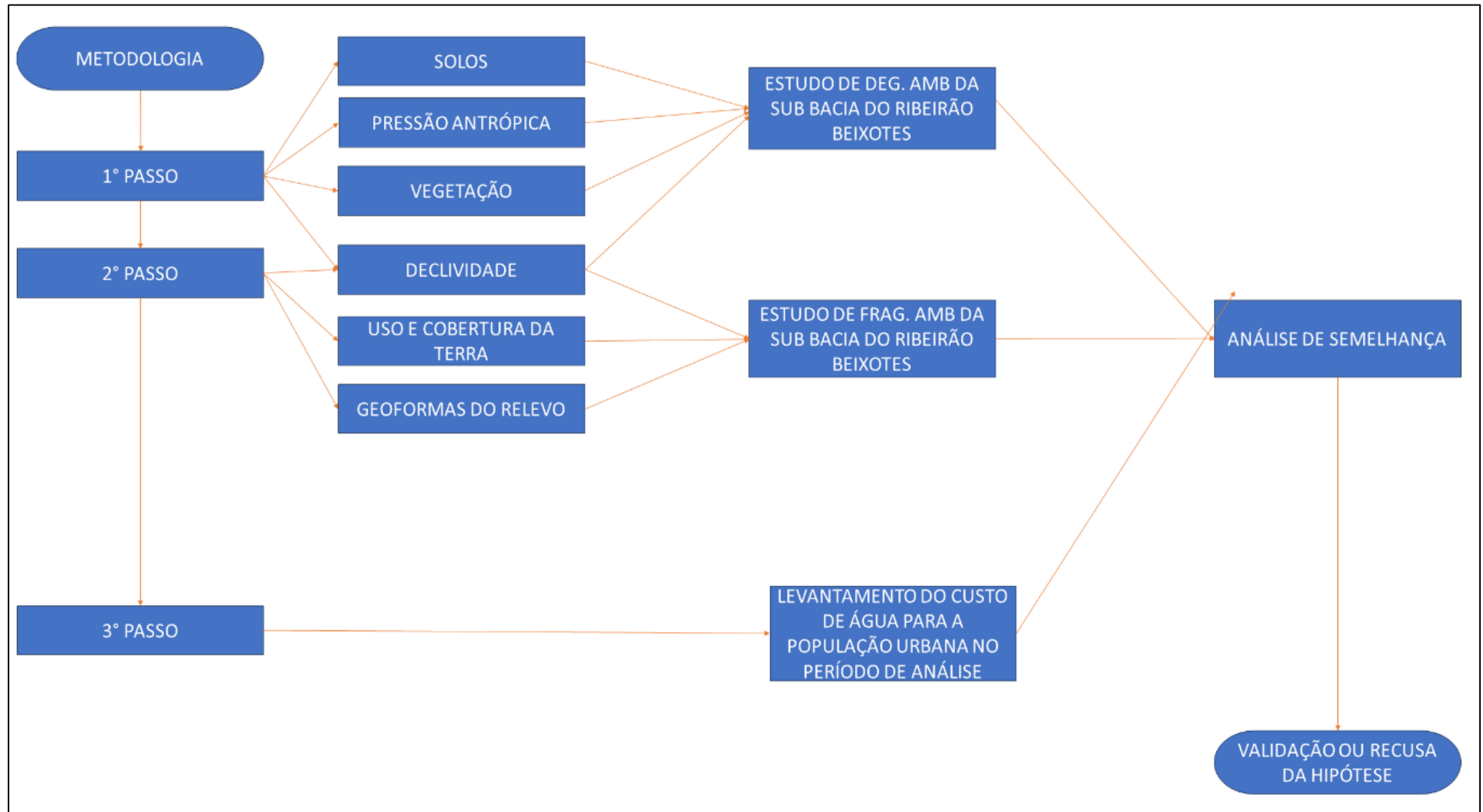
Município	População	% População
Birigui	118.979	93,72
Brejo Alegre	2.565	2,03
Coroados	5.400	4,25

Fonte: IBGE Cidades (2023).

5 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho se dividirá em 3 frentes principais, sendo elas a metodologia para estimativa e caracterização da fragilidade ambiental potencial e emergente e da degradação ambiental na bacia em estudo, análise da relação entre a degradação ambiental observada com a fragilidade ambiental emergente e o custo do serviço de água à população, como observado no fluxograma da figura 5.

Figura 5: Fluxograma esquemático da metodologia de trabalho.



Fonte: Autor, 2023

O período de análise do trabalho se iniciará no ano de 2016 e será finalizada no ano de 2022.

Para a seleção das imagens de satélite, para que fosse possível visualizar e entender a cobertura do solo nos anos analisados, foi utilizado um código na plataforma Google Earth Engine para calcular as medianas das cenas de acordo com o ano de análise, o código está apresentado no link ([clique aqui](#)). A plataforma Google Earth Engine, é um visualizador de dados geoespaciais que possui acesso a um grande conjunto de dados regionais e globais (Google, acesso em 10 de dezembro de 2022), além de permitir que o usuário faça a manipulação dos dados disponíveis, graças ao sistema de banco de dados que a plataforma possui, sendo então possível então elaborar dados de maneira mais ágil através de um código que deve ser inserido na interface do programa.

5.1 Cálculo do Índice de Degradação Ambiental e da Fragilidade Ambiental

Para Ross (1994) análise empírica da fragilidade exige estudos de relevo, do solo, do uso da terra e do clima, a partir dos dados geram-se produtos cartográficos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, uso e cobertura da terra/vegetação. De acordo com o autor, esses dados tratados integralmente possibilitam a realização de um diagnóstico de diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes.

Para início foi utilizado uma imagem SRTM, com modelo digital de elevação de resolução espacial de 30 metros, disponível no banco de dados do Earth Explorer (acesso em outubro de 2023).

Para o início da carta de fragilidade foi preciso elaborar a declividade da área de estudo a partir da imagem SRTM utilizada, Ross (1994) divide e classifica a declividade (%) utilizando os critérios já estabelecidos nos estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola, e atribui a elas categorias hierárquicas, Elevação como demonstrado na Tabela 4:

Tabela 3: Atribuição das categorias hierárquicas para as classes de declividade.

Classes de Declividade	Categorias Hierárquicas
<6%	Muito Fraca (1)
6 a 12%	Fraca (2)
12 a 20%	Média (3)
20 a 30%	Forte (4)
>30%	Muito Forte (5)

Fonte: Ross, 1994 (adaptado)

Após a declividade, foi utilizada a variável relevo, que foi produzida a partir do mesmo MDE utilizado na produção da declividade, cujas geoformas apresentadas (plano, pico, crista, ressalto, crista secundária, encosta, fosso, vale, base de encosta e escavado) tiveram atribuídas os seus níveis de fragilidade, apresentados na Tabela 5:

Tabela 4: Atribuição dos níveis de fragilidade das geoformas do relevo.

Geoformas do Relevo	Níveis de Fragilidade
Plano (1)	Muito baixo (1)
Picos (2), cristas (3)	Baixo (2)
Ressalto (4), e cristas secundárias (5)	Médio (3)

Encostas (6)	Alto(4)
Fossos (7), base das encostas (9) e escavados (10)	Muito Alto (5)
Vale (8)	Restrito [†] (10)

Fonte: Moroz & Ross, 2019 (adaptado)

Ao se somar os níveis de fragilidades da declividade e das geoformas de relevo, se obtém os níveis de fragilidade do relevo.

A variável dos tipos de solos, disponibilizada por Rossi (2017), foi analisada cujos níveis de fragilidade podem ser observados na Tabela 5:

[†] Se destaca o vale como nível de fragilidade restrito, devido a alta fragilidade a inundações

Tabela 5: Atribuição dos níveis de fragilidade dos tipos de solo.

Tipos de Solos	Categorias Hierárquicas
Latossolo vermelho distroférico ou acriférico textura argilosa ou muito argilosa	Muito Baixa (1)
Latossolo vermelho distrófico A moderado textura argilosa ou muito argilosa	
Latossolo vermelho-amarelo distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa ou muito argilosa	
Latossolo vermelho-amarelo cambico ou Latossólico distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa ou muito argilosa	
Latossolo vermelho-amarelo A moderado textura argilosa	
Latossolo vermelho eutroférico ou distroférico ou acriférico A moderado ou A chernozêmico textura argilosa ou muito argilosa	Baixa (2)
Latossolo amarelo textura média argilosa	
Latossolo vermelho-amarelo textura média argilosa	Média (3)
Latossolo vermelho -amarelo ou Latossolo amarelo distrófico A moderado textura média	
Latossolo vermelho distrófico A moderado textura média ou Latossolo vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura média	
Nitossolo vermelho eutroférico ou distroférico A moderado textura argilosa ou muito argilosa	
Argissolo vermelho-amarelo ou Argissolo vermelho distrófico moderado A moderado textura argilosa	Forte (4)
Argissolo vermelho-amarelo ou Argissolo amarelo ou Argissolo vermelho eutrófico ou distrófico, ambos A moderado textura arenosa/média	
Argissolo vermelho-amarelo Argissolo vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura arenosa/média	
Argissolo vermelho-amarelo Argissolo amarelo distrófico, ambos A moderado textura arenosa/média	
Argissolo vermelho-amarelo Argissolo amarelo distrófico ou alissolo, A moderado ou A proeminente textura arenosa/média	
Cambissolos	

Tabela 5: Atribuição dos níveis de fragilidade do solo (continuação).

Argissolo vermelho-amarelo Argissolo vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura média/argilosa ou argilosa/argilosa com cascalho ou cascalhenta	
Neossolo litolítico ou Cambissolo de diversos substratos, texturas e graus de saturação por bases	Muito Forte (5)
Neossolo quartzarênico distrófico A moderado	
Gleissolo melânico ou gleissolos háplico ou Organossolo com graus de saturação por bases, respectivamente	
Neossolos flúvicos	Muito Forte [‡] (10)

Fonte: Vagula, 2019

Ao se somar os níveis de fragilidade do relevo com os dos solos, se obtém os níveis de fragilidade potencial da área de estudo, e deste último ao se acrescentar os níveis de fragilidade do uso e cobertura da terra, tem-se então a fragilidade emergente da região, os dados de uso e cobertura da terra utilizados são disponibilizados pelo MapBiomas (Coleção 8, com resolução espacial de 10 metros, acesso em outubro de 2023). Os níveis de fragilidade da variável uso e cobertura da terra estão expostos na tabela 6 abaixo:

[‡] Fragilidade muito alta a inundações

Tabela 6: Atribuição dos níveis de fragilidade as classes de uso e cobertura da terra.

Classes de Uso e Cobertura da Terra	Níveis de Fragilidade
Formação florestal, mangue, silvicultura	Muito baixo (1)
Formação savânica, restinga arborizada	Baixo (2)
Formação natural não florestal, apicum, outras formações não florestais, agropecuária, lavoura perene, café, citrus, outras lavouras perenes, área urbanizada	Médio (3)
Afloramento rochoso, pastagem, agricultura, lavoura temporária, soja, cana-de-açúcar, arroz, outras lavouras temporárias, mosaico de agricultura e pastagem	Alto(4)
Áreas não vegetadas, praia duna e areal, mineração, outras áreas não vegetadas	Muito Alto (5)
Campo alagado e área pantanosa	Muito alta (6)
Corpo d'água, rio, lago, oceano, aquicultura	Sem fragilidade (0)

Fonte: Moroz & Ross, 2019 (adaptado).

Do resultado da fragilidade ambiental emergente, então será parametrizado conforme apresentado na Tabela 7

Tabela 7: Atribuição dos níveis de fragilidade.

Intervalo	Níveis de Fragilidade
0 a 1	Muito baixo
1 a 2	Baixo
2 a 3	Médio
3 a 4	Alto
4 a 5	Muito Alto
>5	Muito Alto (Inundações)

Fonte: Moroz & Ross, 2019 (adaptado pelo autor)

Os índices de pressão antrópica se dão a partir da densidade demográfica dos municípios, e está descrita na tabela 8 a sua classificação

Tabela 8: Classificação da pressão antrópica.

Densidade Demográfica	Classificação da Pressão Antrópica
15	Fraca
57	Média
≥ 100	Alta

Fonte: Rogalski, 2011

Estando todas as variáveis parametrizadas, podemos então calcular o Índice de Degradação Ambiental adaptado de Rogalski (2011), onde o valor de 1 na equação é substituído pelo valor 5 neste trabalho levando em consideração que os valores de parametrização de dados utilizados nesse trabalho variam na ordem de 1 a 5, enquanto na metodologia proposta por Roglaski (2011) valores variavam de 0 a 1, descrito na equação 1:

$$IDA = \frac{\left[5 - \left(\frac{V + S}{2}\right)\right] + \frac{D + P}{2}}{2} \quad (1)$$

Onde:

V: Vegetação;

S: Características do solo;

D: Declividade;

P: Pressão Antrópica (Densidade Demográfica)

Ao se finalizar o cálculo do Índice de Degradação Ambiental os resultados são classificados de acordo com a tabela 9:

Tabela 9: Classes do Índice de Degradação Ambiental.

Classes do IDA	Valores
Qualidade ambiental alta	0 a 1,25
Qualidade ambiental moderada	1,25 a 2,5
Qualidade ambiental subcrítica	2,5 a 3,75
Qualidade ambiental crítica	>3,75

Fonte: Rogalski, 2011 (adaptado)

5.2 Análise da Evolução dos Preços Praticados à População Urbana.

Para fazer a análise dos preços praticados ao consumidor é necessário constatar os reajustes realizados desde o início do período de análise deste trabalho. No município de Birigui, o prestador de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário é o Serviço de Água e Esgoto (SAE), e na conta de água entregue, é descrita o valor cobrado por faixa de consumo, conforme apresentado na Figura 5, esse valor engloba a tarifa de água (coleta, tratamento e distribuição) e de esgotamento sanitário (coleta, tratamento e disposição).

Quadro 3: Valores cobrados por faixa de consumo.

RESIDENCIAL		COMERCIAL E PÚBLICA		INDUSTRIAL	
Consumo (m³)	Valores (R\$/m³)	Consumo (m³)	Valores (R\$/m³)	Consumo (m³)	Valores (R\$/m³)
1 a 10	1,7960	1 a 10	2,4250	1 a 10	3,0340
11 a 20	2,2100	11 a 20	3,1500	11 a 20	3,9800
21 a 30	2,5400	21 a 30	4,1300	21 a 30	5,0800
31 a 40	2,8100	31 a 40	4,4200	31 a 40	5,5600
41 a 50	3,8500	41 a 50	5,8200	41 a 50	6,5000
51 a 100	4,9100	51 a 100	6,6100	51 a 100	8,5600
101 a 200	6,1800	101 a 200	8,2300	101 a 200	10,8500
201 a 500	7,3200	201 a 500	9,5200	201 a 500	12,5300
>501	8,2400	>501	10,65	>501	14,1800

Fonte: SAE (2023)

O aumento dos valores foi registrado de acordo com o disposto nas contas de água, que foram consultadas a fim de se montar uma tabela com os valores cobrados ano após ano. O cálculo do aumento percentual foi realizado a partir dos valores obtidos com as contas de água, com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2016, utilizando a Equação 2.

$$\left(\left(\frac{\text{valor do ano atual}}{\text{valor do ano anterior}} \right) * 100 \right) - 100 \quad (2)$$

o cálculo foi repetido para todos os valores de análise, sendo considerado como o primeiro aumento em relação do ano de 2016 para o ano de 2017, e para os outros anos foi utilizada a mesma lógica, e posterior organização dos dados em tabela.

5.3 Análise da Relação de Degradação com o Custo de Serviço de Água à População

É importante conceituar o que se entende como custo de serviço de água, no caso deste trabalho o custo de serviço de água é aquele que está discriminado na conta de água entregue à população, no caso do município de Birigui – SP, esse custo abrange o consumo de água e a rede de esgoto (coleta e tratamento) das ligações.

A análise foi realizada pela análise de agrupamentos, esta depende do julgamento de valores, que objetiva solucionar um problema, considerando uma determinada amostra n , criar critérios a fim de se realizar um agrupamento dos objetos que estejam na mesma classe de maneira natural, isto é, o agrupamento ocorre quando os elementos pertencentes a um grupo são mais parecidos quanto possível uns com os outros, isto nos leva a medir a semelhança ou diferença de todo o par de indivíduos (Chastfield, 1992).

Os dados das variáveis de fragilidade ambiental emergente, degradação ambiental e aumento dos preços praticados à população foram organizados e submetidos a avaliação por meio da técnica de análise de semelhança. A aplicação da técnica de análise multivariada aos dados acima descritos buscou identificar a correlação entre as variáveis estudadas.

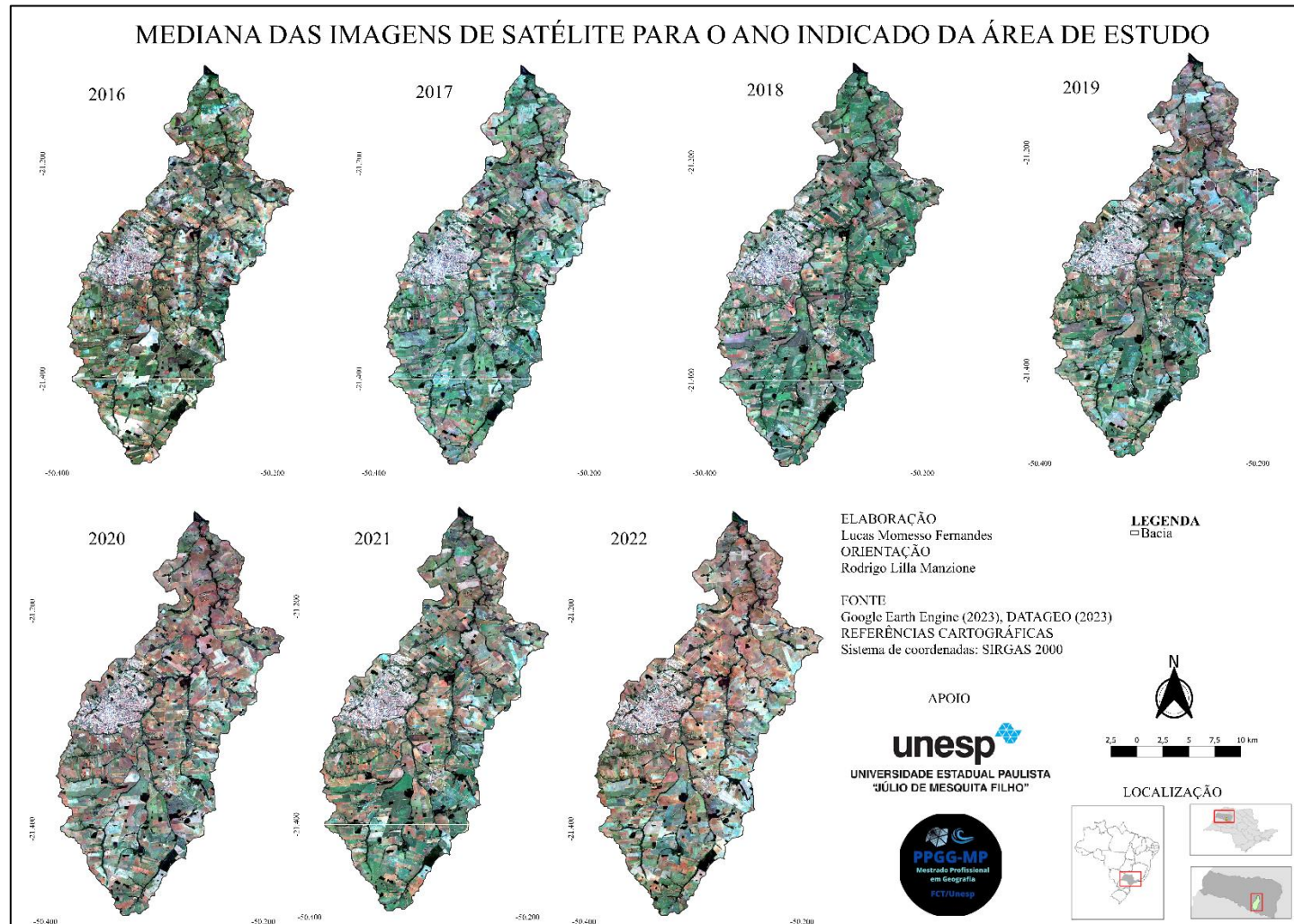
Para a realização da análise de semelhança foi utilizado o software Minitab, na versão 16.2.4.0, com o uso do método da distância euclidiana.

6 RESULTADOS

6.1 Índice de Degradação Ambiental e da Fragilidade Ambiental

Para a visualização da cobertura da superfície do solo da área de estudo, fez-se a mediana das imagens de satélite Sentinel-2, com o uso do Google Earth Engine, da área de estudo, na Figura 7 podemos observar o resultado das imagens de satélite da área de estudo.

Figura 6: Imagens de satélite da bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes.

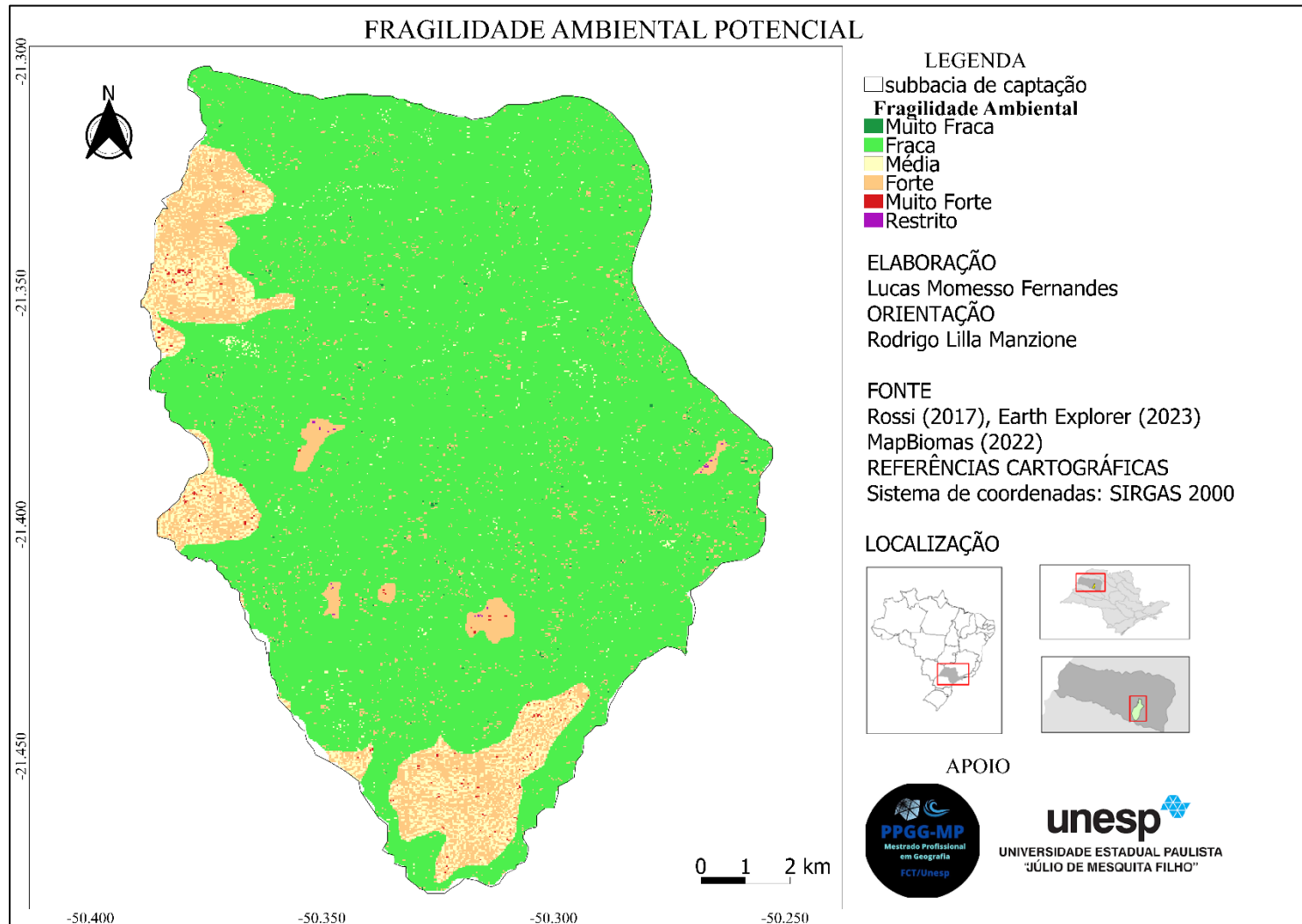


Fonte: Autor, 2023.

Percebe-se a partir das imagens de satélite da Figura 6 que não existem fragmentos de vegetação densos dentro da bacia, ela é utilizada em sua maioria para fins de agricultura, ademais nota-se a presença de algumas áreas de culturas irrigadas através de pivôs de irrigação, podendo também se observar os perímetros urbanos dos municípios de Birigui, a oeste da bacia, e de Coroados, à sudeste.

Apresentada na Figura 8, está a Fragilidade Ambiental Potencial da área de estudo, possui grande parte da bacia hidrográfica do ribeirão Baixotes com fragilidade ambiental potencial classificada como baixa, e algumas áreas são de média e alta fragilidade, e a minoria das áreas observadas são de muito alta ou muito baixa fragilidade, este cálculo depende apenas de fatores físicos (declividade, geoformas do relevo e tipos de solo), e como a região apresenta pouca variação de altitude, e não possui vertentes muito íngremes que influenciem diretamente na declividade ou nas geoformas de relevo, o resultado encontrado condiz com o que se é esperado.

Figura 7: Fragilidade Ambiental Potencial da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes.



Fonte: Autor, 2023.

Das Figuras de 8 a 14 são observadas a Fragilidade Ambiental Emergente dos anos de 2016 a 2022, como além dos fatores físicos analisados anteriormente (Figura 7) também é utilizado o uso e cobertura da terra, o resultado encontrado nesta etapa do estudo difere muito do observado na Figura 7.

Figura 8: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2016.

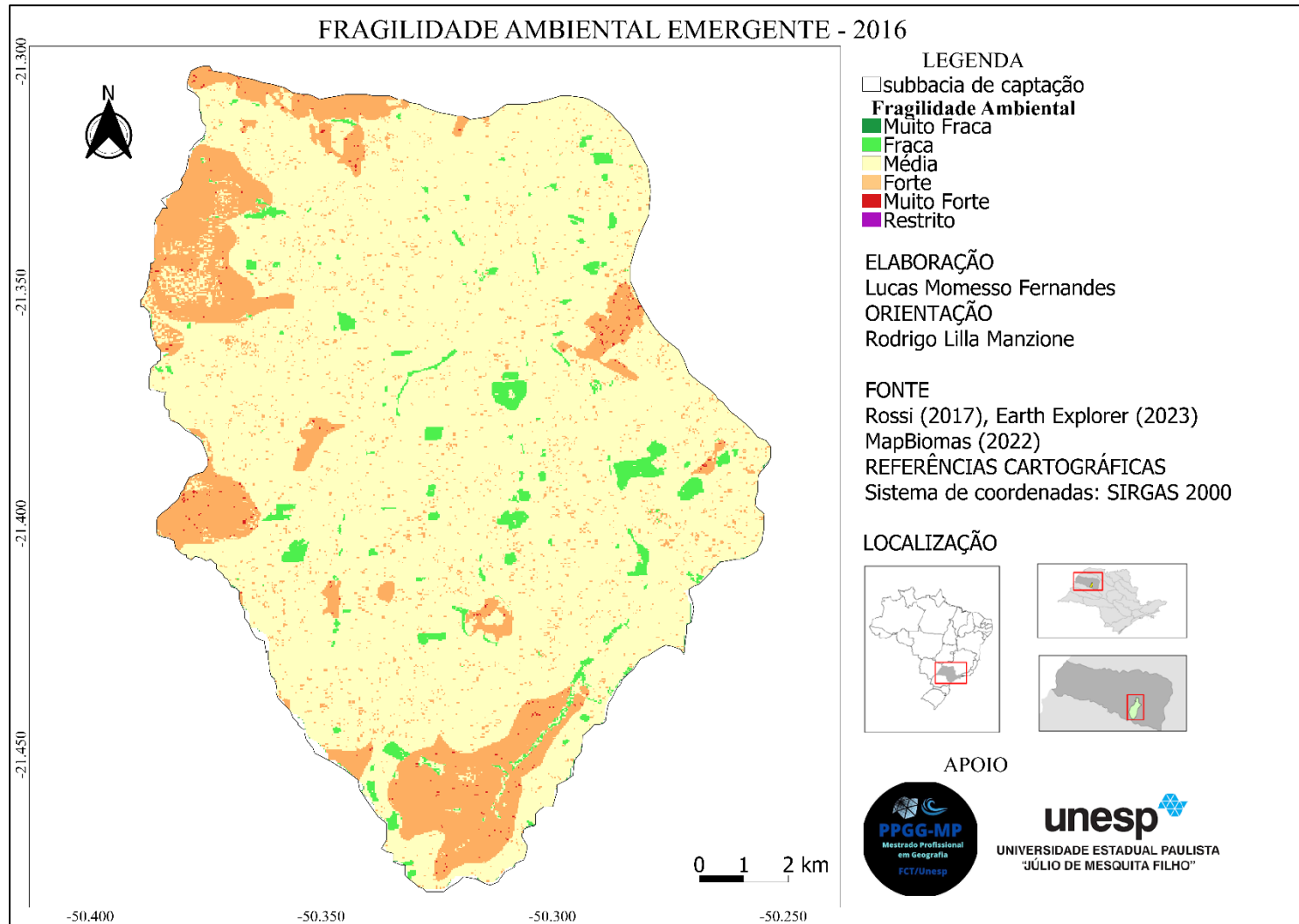


Figura 9: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2017.

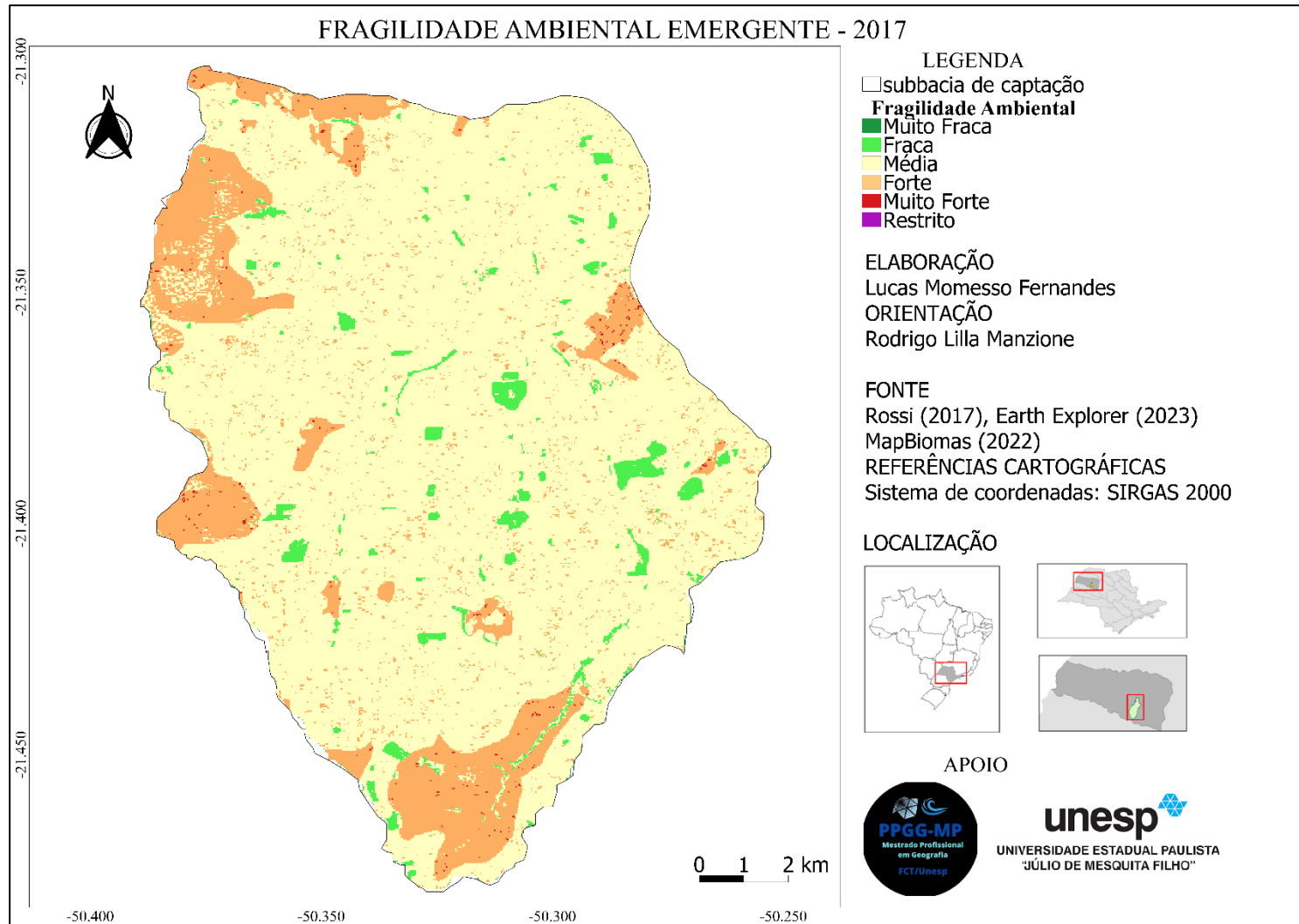


Figura 10: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2018.

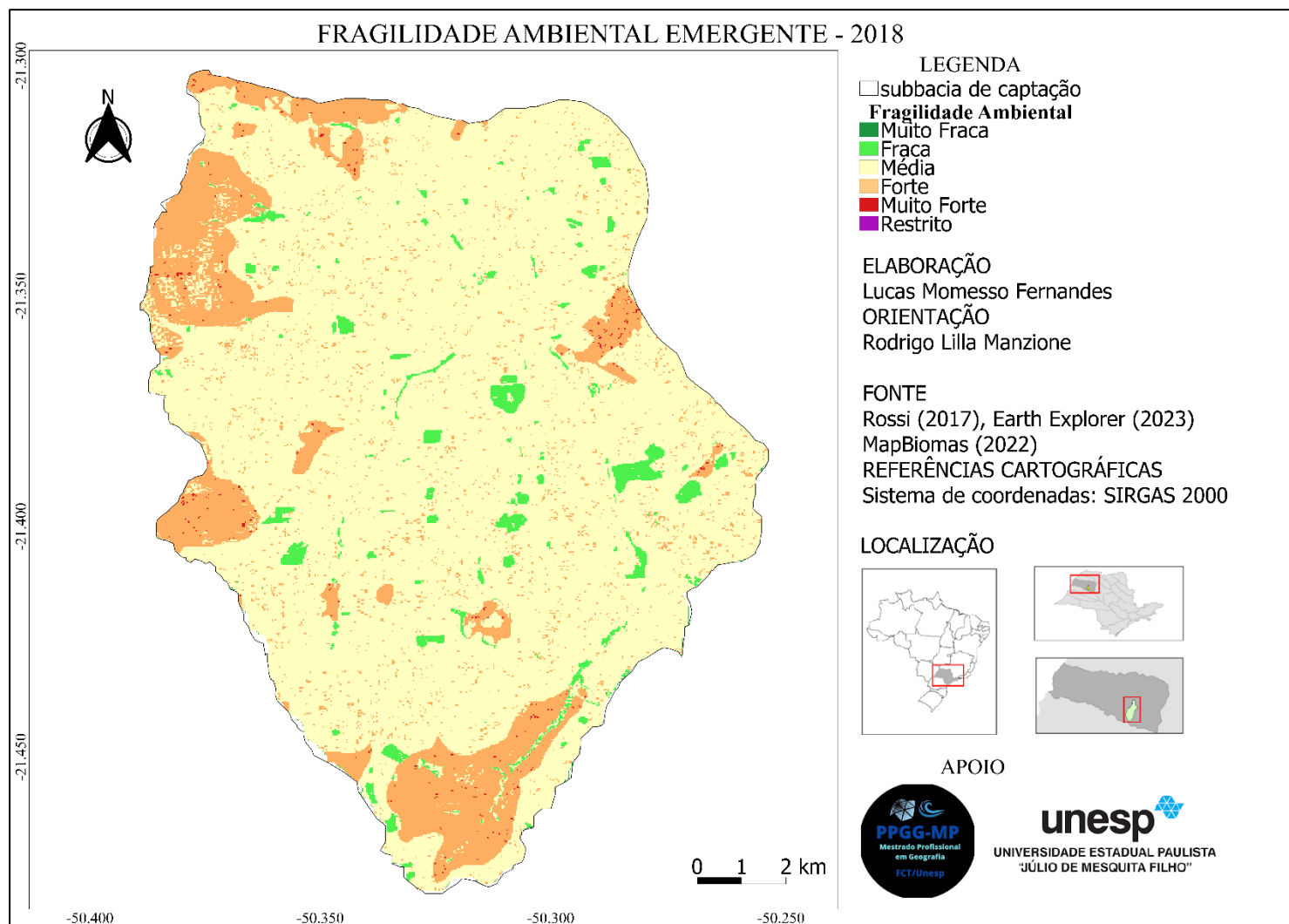


Figura 11: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2019.

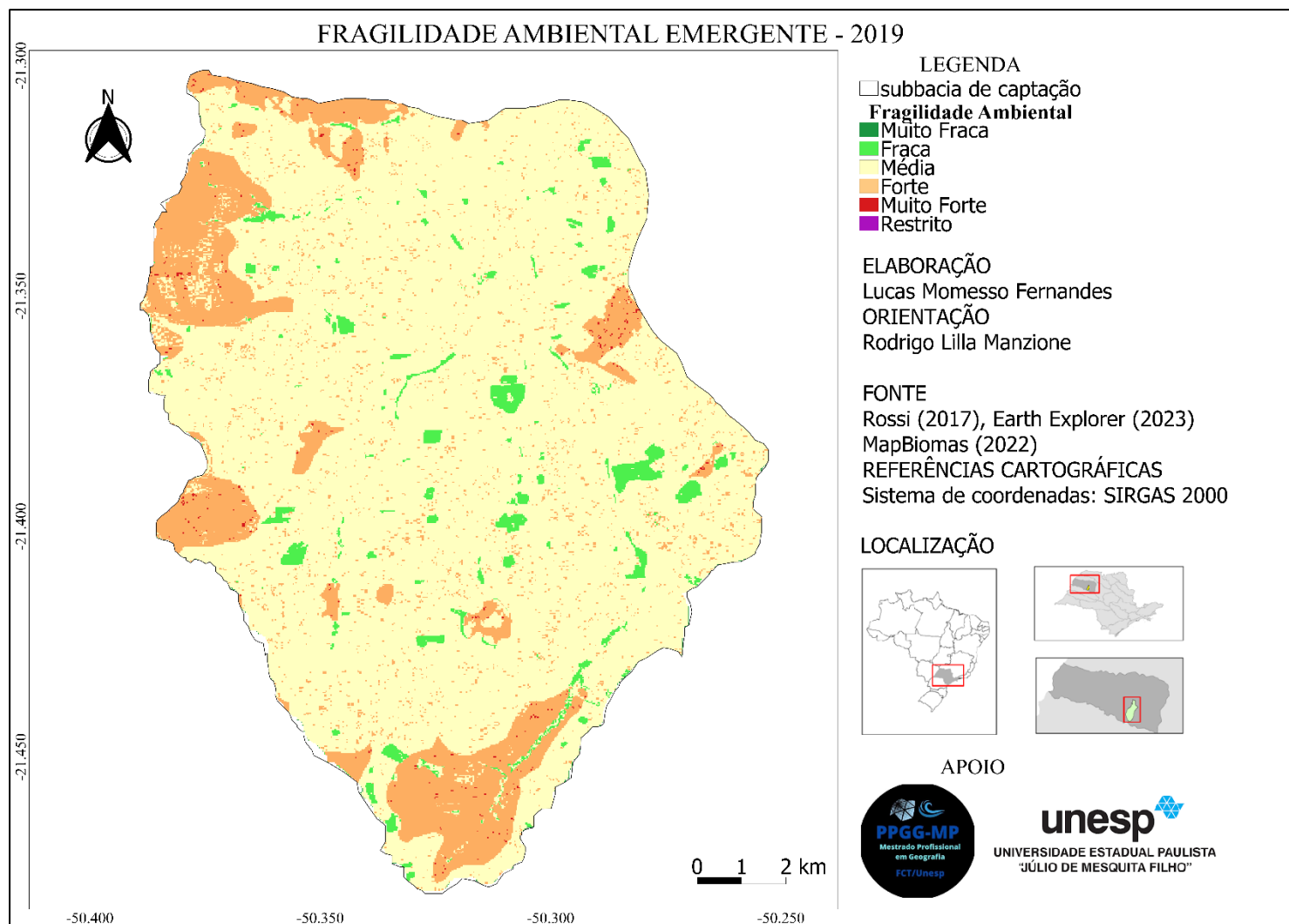


Figura 12: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2020.

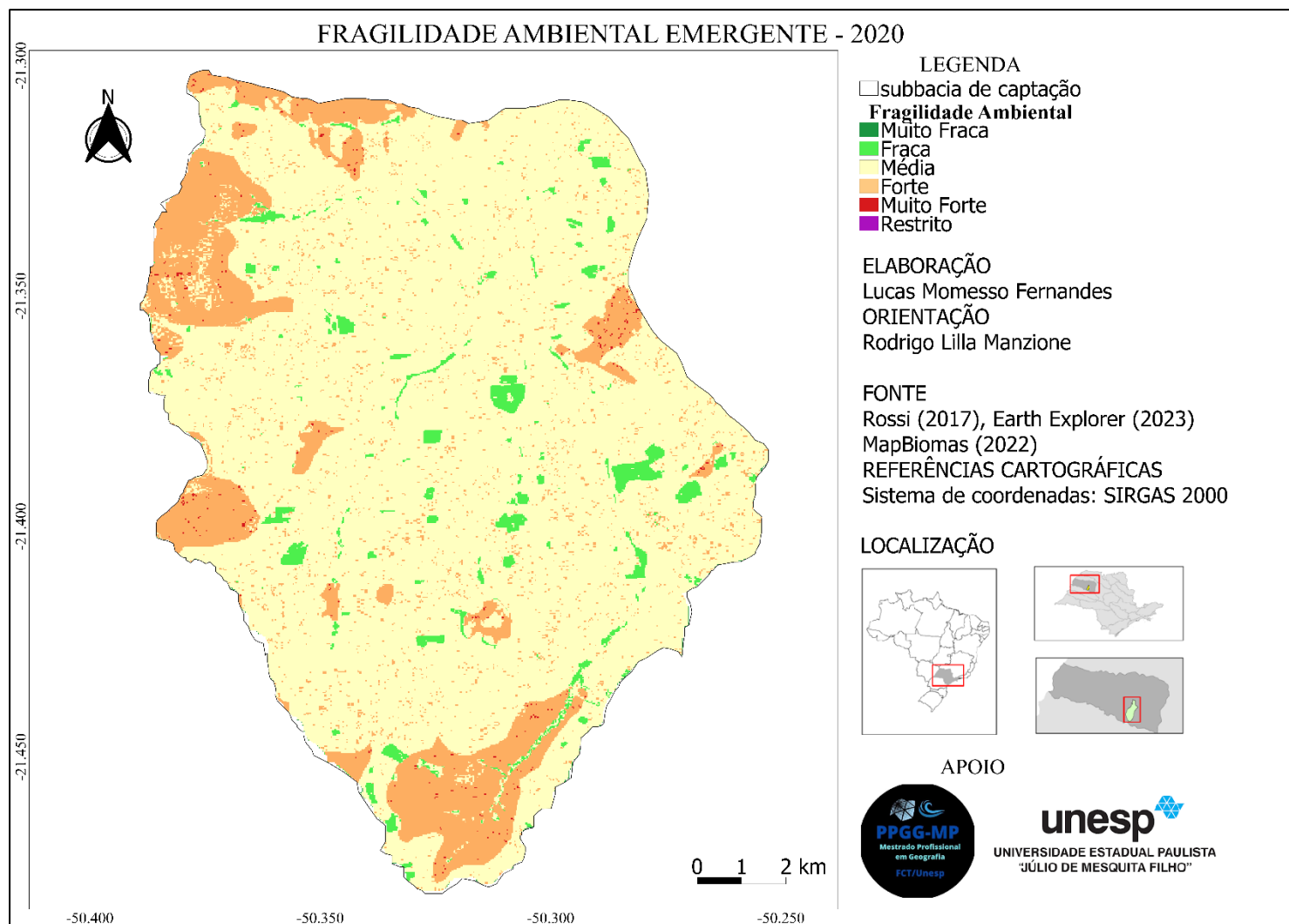


Figura 13: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2021.

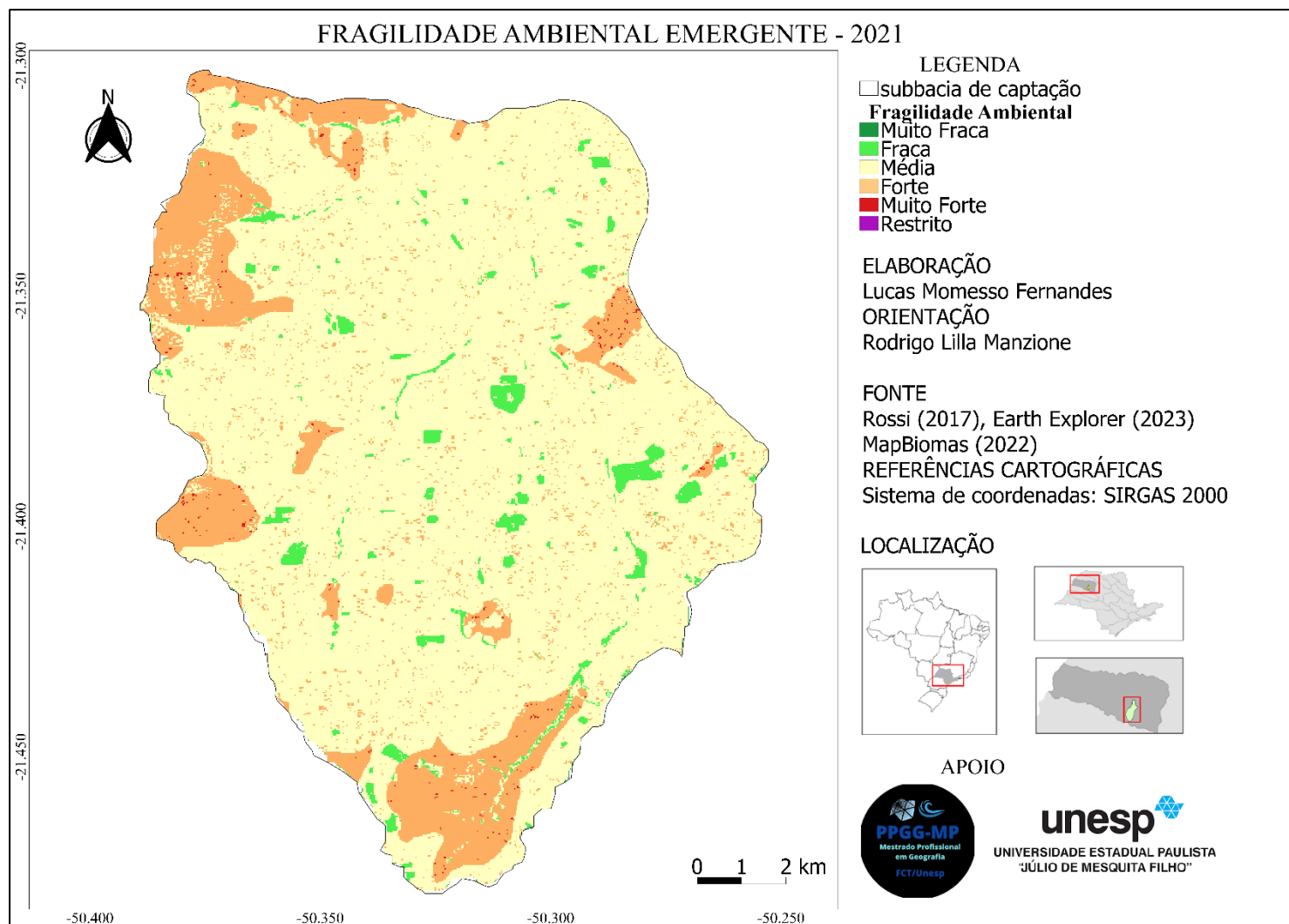
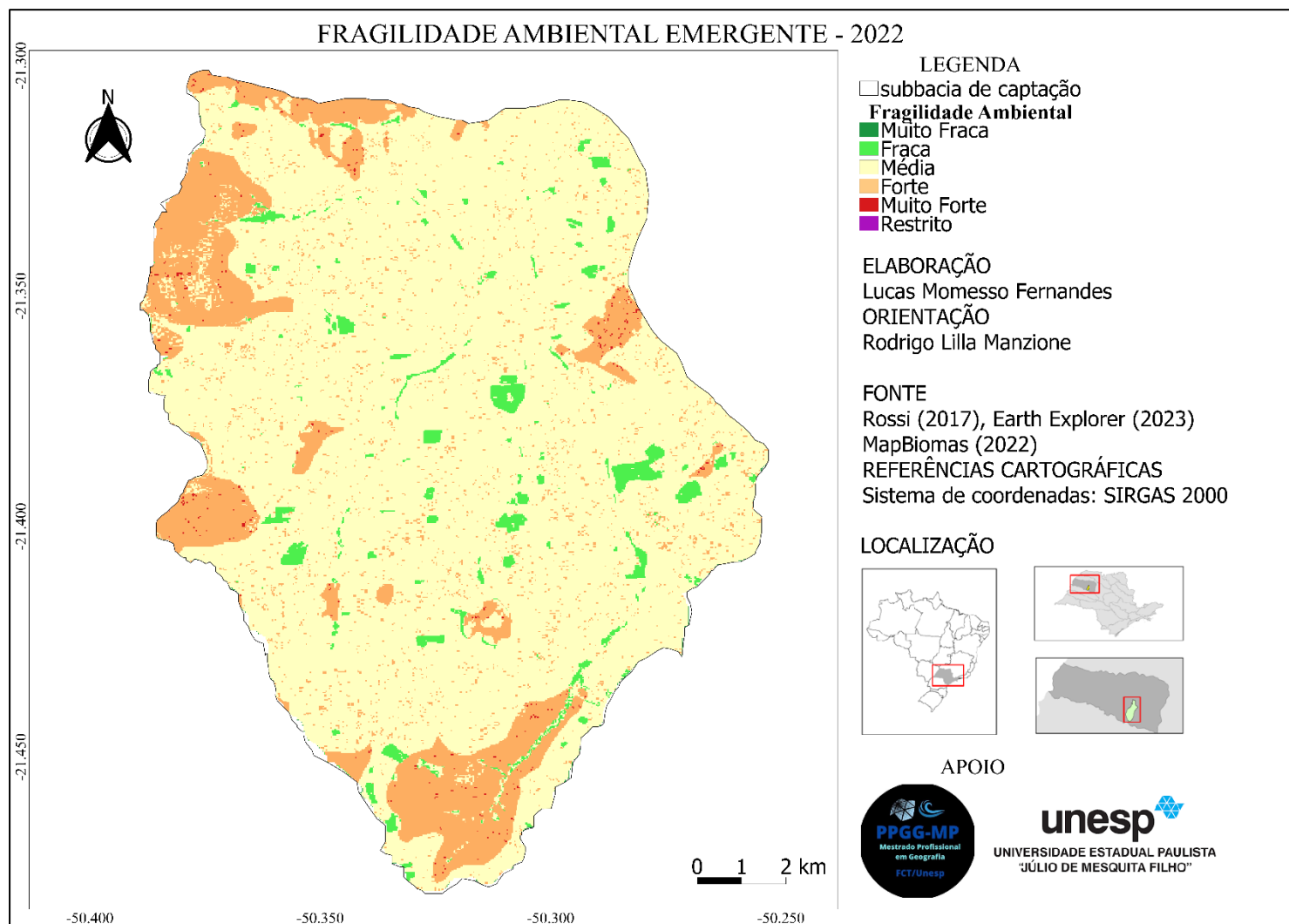


Figura 14: Fragilidade Ambiental Emergente da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2022.



As Tabelas 10 e 11 apresentadas na sequência mostram os valores das áreas de cada classe de fragilidade elencada nos mapas acima.

Tabela 10: Áreas das classes de fragilidade ambiental emergente (Km²).

Níveis de Fragilidade Ambiental	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	DIF 2016-2022
Muito Baixa	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,000
Baixa	5,42	5,42	5,50	5,59	5,67	5,67	5,68	-0,255
Média	143,52	143,52	143,24	143,00	142,77	142,77	142,82	0,699
Alta	29,70	29,70	29,89	30,04	30,19	30,19	30,21	-0,506
Muito Alta	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	-0,02

Tabela 11[§]: Áreas das classes de fragilidade ambiental emergente em porcentagem (%).

Níveis de Fragilidade Ambiental	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	DIF 2016-2022
Muito Baixa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00
Baixa	3,03	3,03	3,08	3,12	3,17	3,17	3,17	-0,14
Média	80,14	80,14	80,11	79,85	79,72	79,72	79,71	0,43
Alta	16,59	16,59	16,72	16,78	16,86	16,86	16,86	-0,27
Muito Alta	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	-0,02

A área de estudo é altamente antropizada e desenvolve intensamente atividades de agricultura, como a plantação de soja e cana-de-açúcar, e pecuária, como a criação de gado bovino, em consequência desse tipo de uso o resultado encontrado é de uma bacia hidrográfica de média a alta fragilidade ambiental emergente. As áreas de muito alta fragilidade ambiental também pode ser facilmente percebida, embora em menor quantidade. As áreas de baixa fragilidade encontram-se próximas ao leito dos recursos hídricos superficiais da região, onde existe algum tipo de vegetação arbórea. As áreas de fragilidade muito baixa são praticamente inexistentes dentro da bacia, formando polígonos muito pequenos e de difícil visualização, por fim as áreas de fragilidade muito alta (restrito) são áreas sujeitas a inundação e encontram-se em quantidade também muito pequena na área analisada.

Podemos observar as mudanças na Fragilidade Ambiental Emergente no tempo de análise através da diminuição das áreas de média fragilidade e o avanço das áreas de alta e

[§] Os valores negativos encontrados na coluna DIF 2016-2022 indicam que a linha observada apresentou aumento na área ocupada dentro da bacia

muito alta fragilidade, as áreas de muito baixa fragilidade se mantém igual em quase todo o período e as áreas de baixa fragilidade apresentam aumento em todo o território estudado.

Quanto a degradação ambiental, a Figura 15 a 21 apresentam os mapas com o estado de degradação da área de estudo.

Figura 15: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2016.

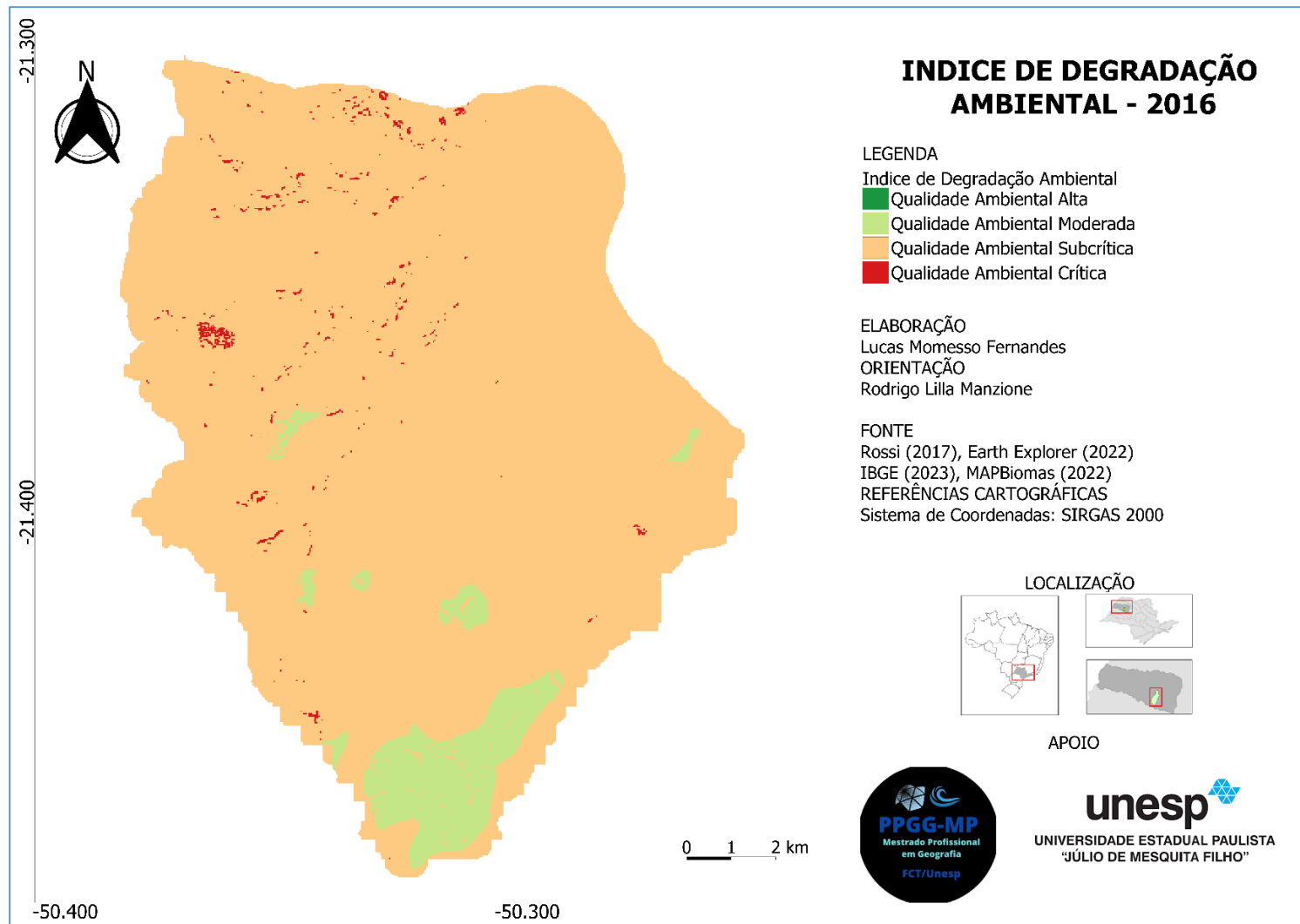


Figura 15: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano 2017.

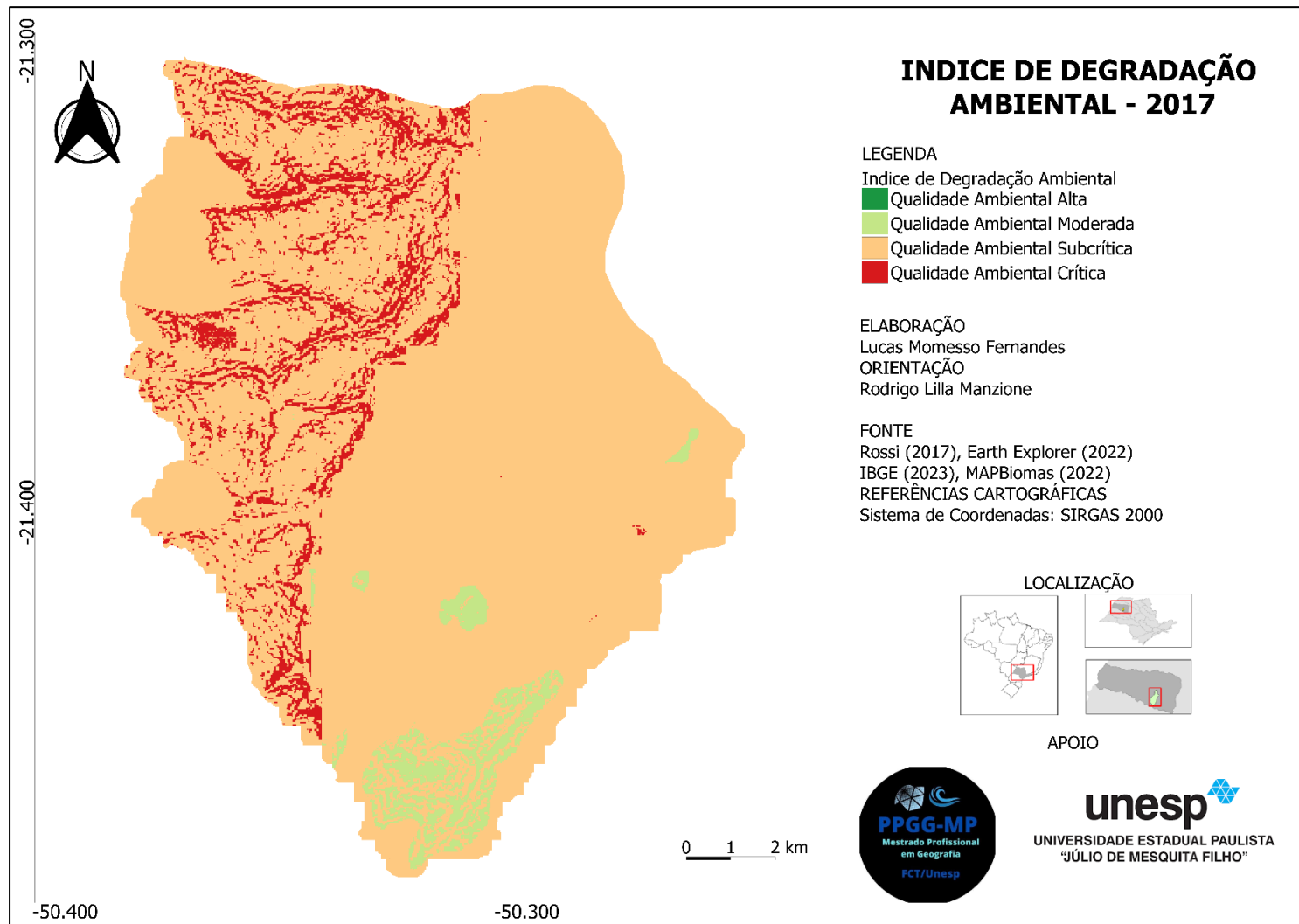


Figura 17: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2018.

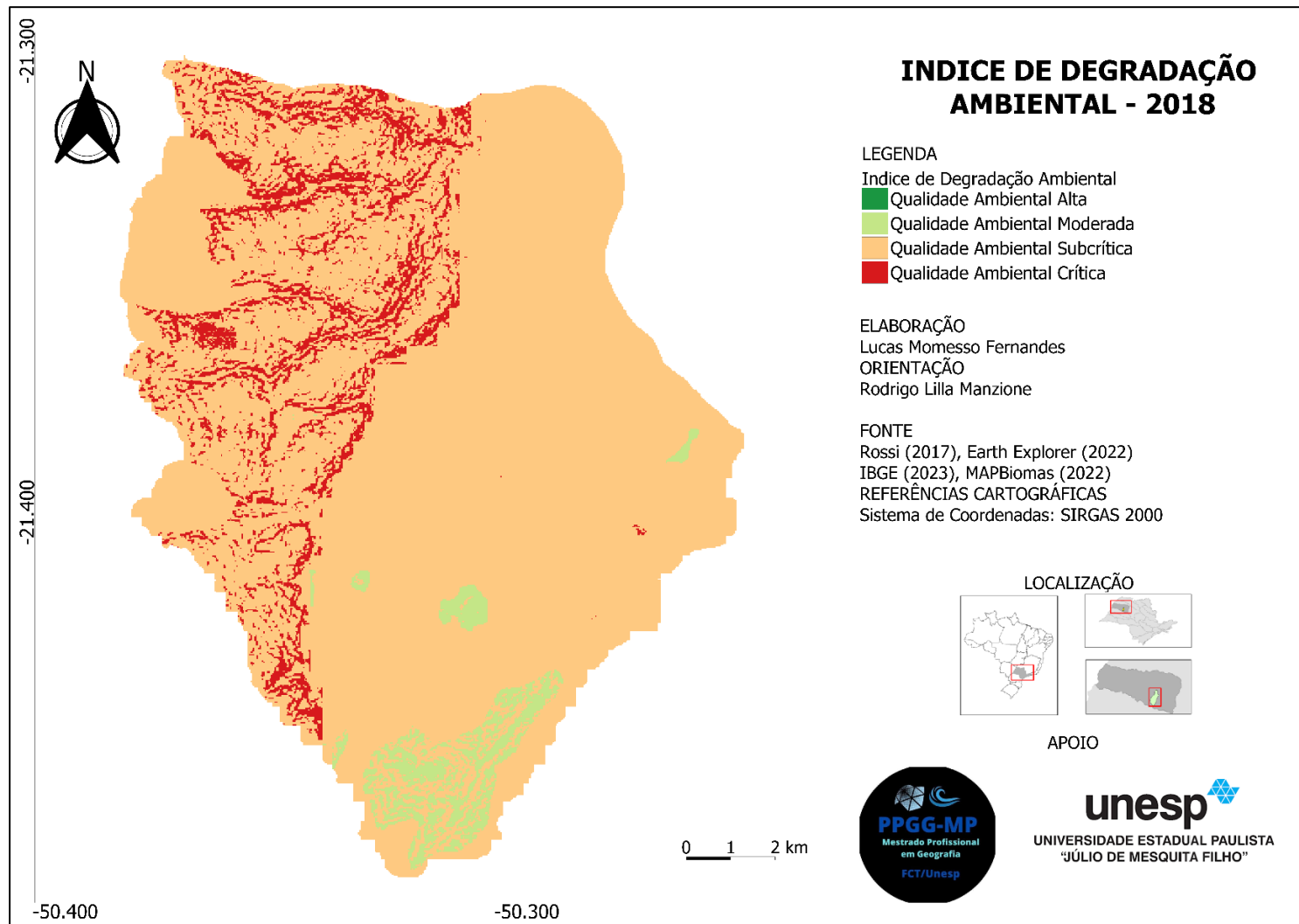


Figura 18: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2019.

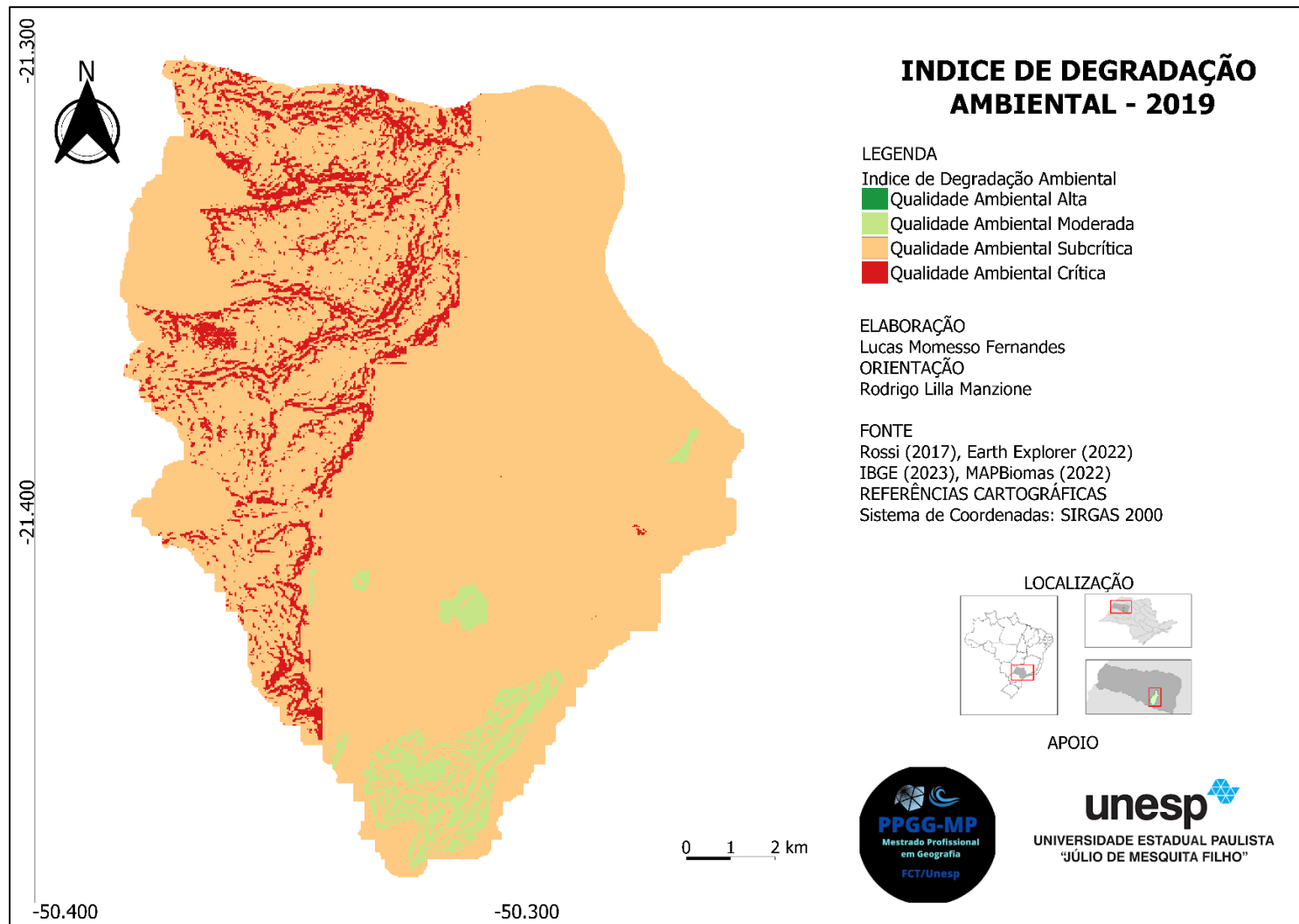


Figura 19: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2020.

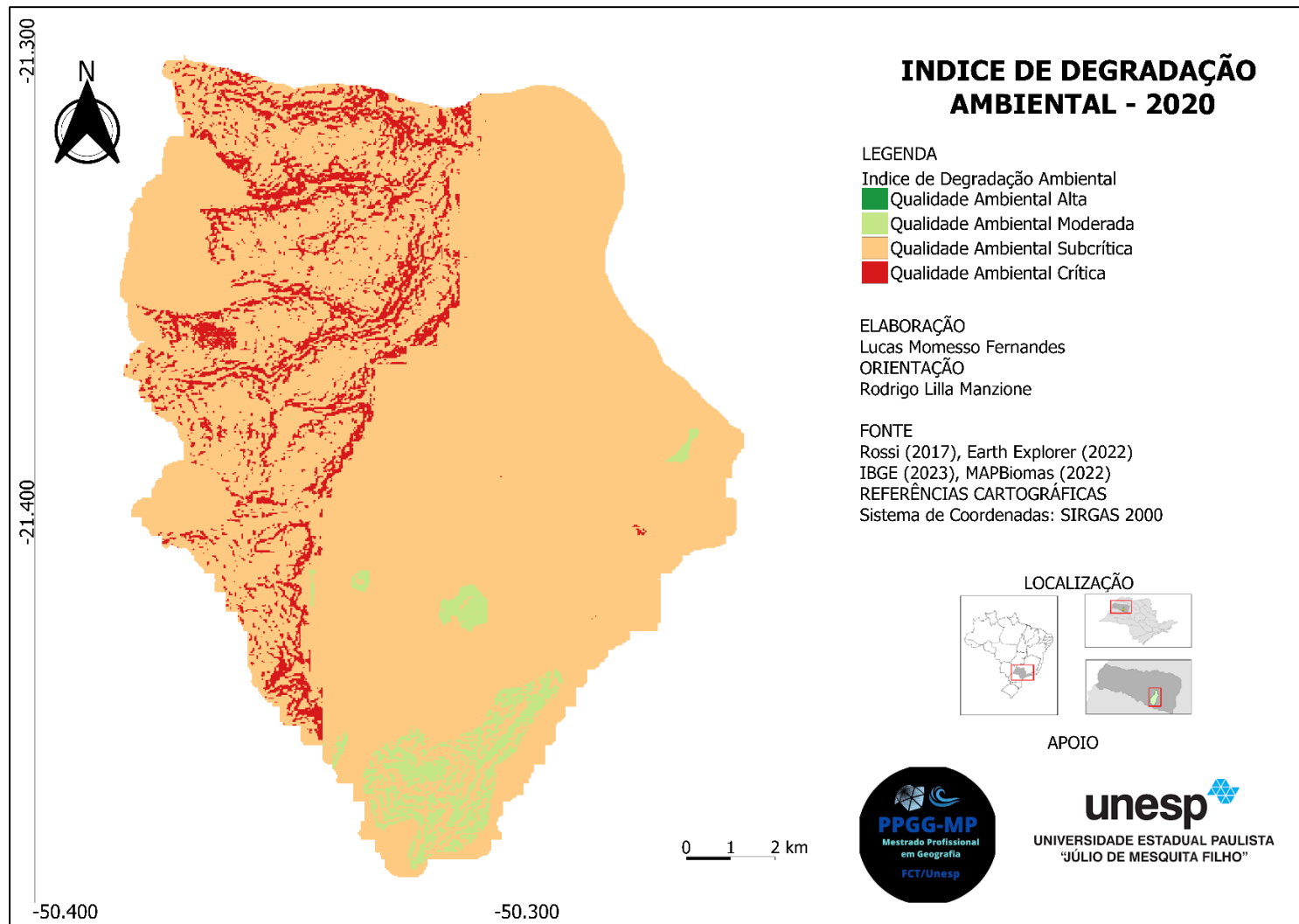


Figura 20: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2021.

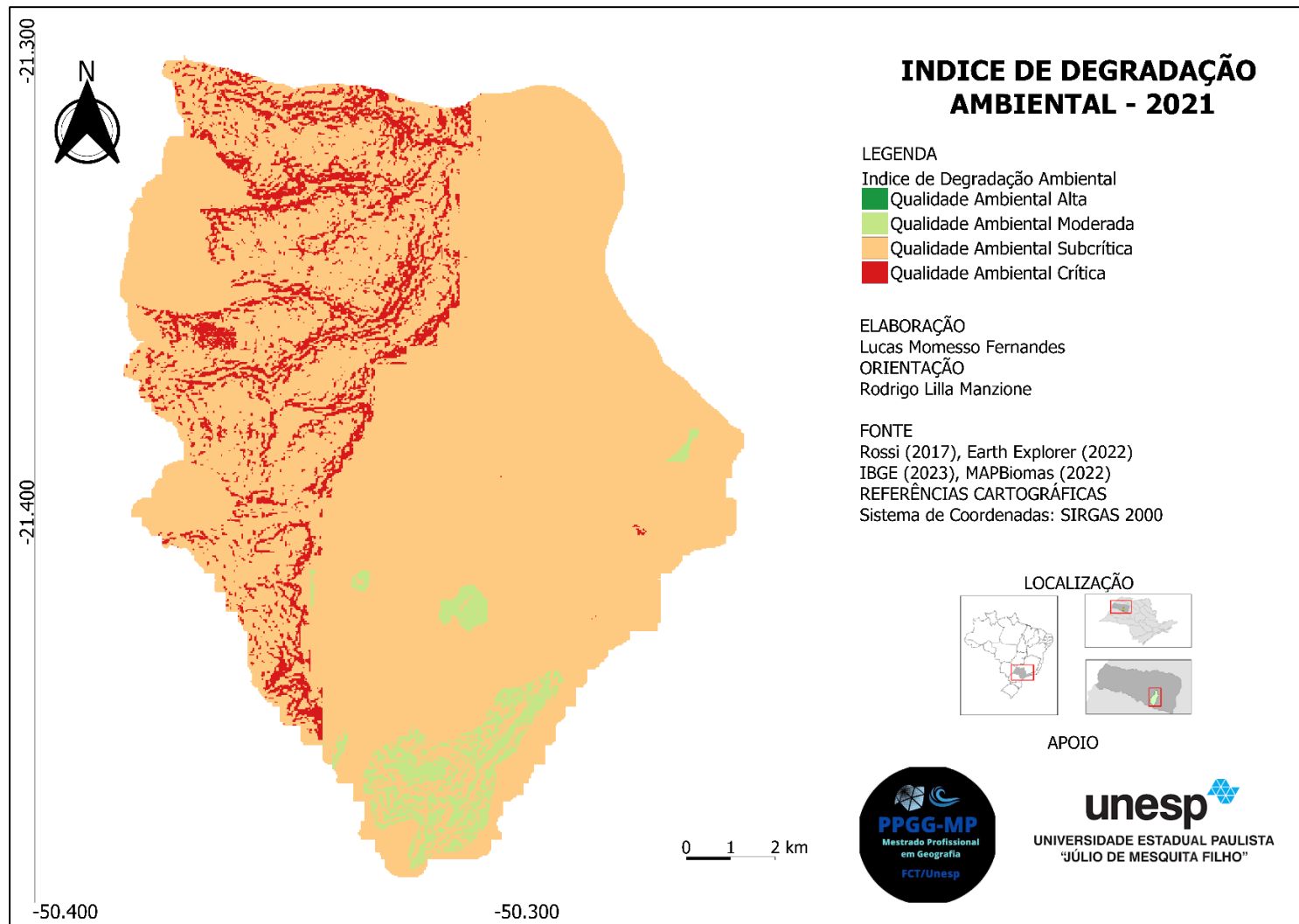
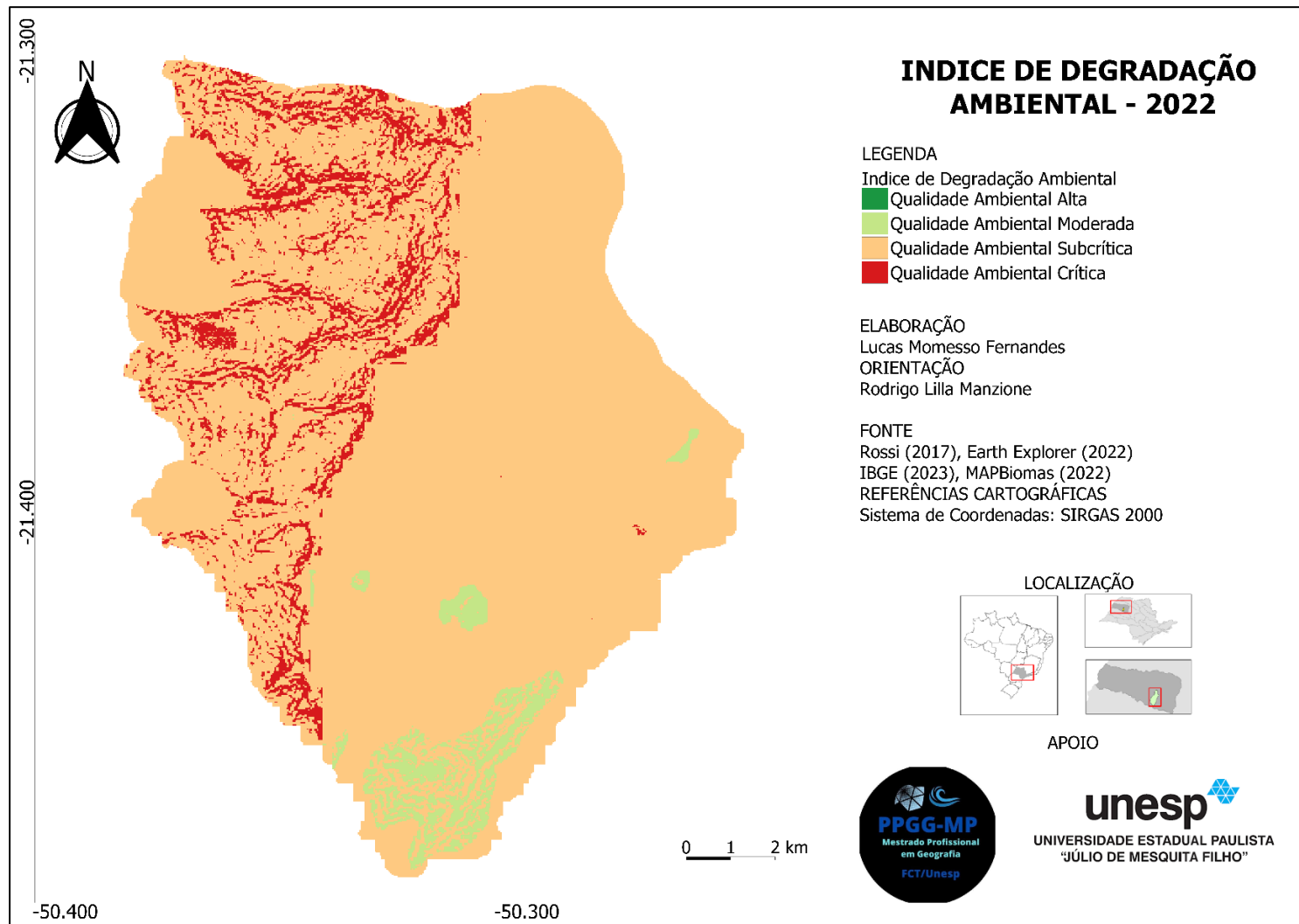


Figura 21: Níveis de degradação ambiental da sub-bacia hidrográfica de captação de água do Ribeirão Baixotes para os anos de análise do estudo para o ano de 2022.



As Tabelas 12 e 13 apresentadas na sequência mostram os valores das áreas de cada classe de fragilidade elencada nos mapas acima.

Tabela 12: Áreas das classes de degradação ambiental por Km².

Índice de degradação ambiental	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	DIF 2016-2022
Qualidade Ambiental Alta	0	0	0	0	0	0	0	0
Qualidade Ambiental Moderada	10,43	6,18	6,19	6,19	6,20	6,20	6,21	4,21
Qualidade Ambiental Subcrítica	165,9	155,43	155,49	155,51	155,52	155,52	155,51	10,47
Qualidade Ambiental Crítica	1,14	15,89	15,88	15,86	15,83	15,83	15,83	-14,69

Tabela 13: Áreas das classes de degradação ambiental em porcentagem (%).

Índice de degradação ambiental	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	DIF 2016-2022
Qualidade Ambiental Alta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Qualidade Ambiental Moderada	5,87	3,48	3,49	3,49	3,50	3,50	3,50	2,37
Qualidade Ambiental Subcrítica	93,48	87,56	87,57	87,58	87,59	87,59	87,58	5,90
Qualidade Ambiental Crítica	0,65	8,96	8,95	8,93	8,92	8,92	8,92	-8,27

O resultado encontrado para o Índice de Degradação Ambiental da sub-bacia de captação do Ribeirão baixotes é em sua maioria com qualidade ambiental subcrítica e não apresenta grandes mudanças visuais como observado nos mapas da Figura 10, entretanto ao analisarmos as tabelas 13 e 14, percebemos o aumento das áreas de qualidade ambiental crítica, e diminuição das áreas de qualidade ambiental moderada, ainda que as mudanças observadas sejam pequenas.

Em comparação com o estudo que embasa a metodologia do IDA deste trabalho, os resultados encontrados por Rogalski (2011) diferem do encontrado na sub-bacia de captação do Ribeirão Baixotes.

Rogalski (2011) utiliza como área de estudo a bacia hidrográfica do ribeirão Arroios, na cidade de Ponta Grossa – PR, e analisa os anos de 1980 e 2005. Na análise de 1980 a bacia possuía as quatro classes de qualidade ambiental, sendo a maior delas a Qualidade Ambiental Subcrítica, que corresponde a 44,13% da área analisada.

Na análise realizada para o ano de 2005, o autor encontra a bacia já bem diferente do resultado anterior, já não existem mais áreas de Qualidade Ambiental Alta, as áreas enquadradas como Qualidade Ambiental Moderada são minoria (12,18%), e a maior parte da área de estudo é classificada como Qualidade Ambiental Crítica, que passou de 20,48% em 1980 para 67,18% em 2005, o que indica a existência de processos que influenciaram a degradação ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Arroios.

De certo modo os resultados encontrados para os casos apresentados pelos dois estudos, embora não se assemelhem, demonstram que a atividade humana contribuiu de maneira significativa para a piora da qualidade ambiental do meio ambiente.

No trabalho desenvolvido por Freitas (2020), que também utiliza a mesma metodologia proposta por Rogalski (2011), tem como área de estudo a bacia hidrográfica do rio das Antas, no sudoeste do estado do Paraná. Freitas (2020) encontrou uma bacia com cerca de 51% da área classificada em Qualidade Ambiental Alta, mais de 38% em Qualidade Ambiental Moderada, e pouco mais de 10% de área em Qualidade Ambiental Subcrítica, não havendo espaços de Qualidade Ambiental Crítica, isso se deve ao fato de que mais de 50% da bacia hidrográfica do rio das Antas é coberta por vegetação arbórea densa, situação que não é encontrada no ribeirão Arroios tampouco no ribeirão Baixotes, indicando que as ações de expansão da agricultura no uso e cobertura da terra influenciam na qualidade ambiental observadas e evidenciadas na transformação das paisagens.

6.2 Análise da Evolução dos Preços Praticados a População Urbana pelo Serviço de Água e Esgoto de Birigui - SP

A análise dos preços praticados aos consumidores de água do perímetro urbano do município de Birigui – SP fez-se necessária para entender como ocorre a dinâmica de cobrança pelo uso da água pela população do município.

As análises estão descritas pela Tabela 14, que apresenta o custo de água por faixa de consumo desde o ano de 2016 ao ano de 2022, os valores apresentados são para alguns meses do ano de cada ano de análise, e em caso de aumento da tarifa no decorrer do ano, será discriminada na tabela o novo valor e o mês ocorrido, como o mostrado abaixo

Tabela 14: Preços cobrados à população consumidora.

Consumo (m³)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 a 10	1,30	1,40	1,46	1,52	1,52	1,52	1,79
11 a 20	1,60	1,73	1,80	1,87	1,87	1,87	2,21
21 a 30	1,84	1,99	2,07	2,15	2,15	2,15	2,54
31 a 40	2,04	2,20	2,29	2,38	2,38	2,38	2,81
41 a 50	2,79	3,02	3,14	3,26	3,26	3,26	3,85
51 a 100	3,56	3,85	4,00	4,16	4,16	4,16	4,91
101 a 200	4,48	4,84	5,03	5,23	5,23	5,23	6,18
201 a 500	5,31	5,74	5,97	6,20	6,20	6,20	7,32
>501	5,98	6,46	6,72	6,98	6,98	6,98	8,24

Fonte: Serviço de Água e Esgoto, dados dispostos nas contas de água dos respectivos anos discriminados.

Observa-se nos resultados encontrados, que desde o início do período de análise, apenas os anos de 2019, 2020 e 2021 não tiveram aumento na tarifa, havendo um novo aumento apenas no ano de 2022, indicando que os aumentos não obedeciam a uma regra específica para que fossem realizados. A Tabela 15 apresenta os dados de aumentos dos preços cobrados à população consumidora em dados percentuais.

Tabela 15: Aumento dos preços cobrados à população consumidora em dados percentuais por faixa de consumo

Consumo (m³)	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
1 a 10	7,69	4,29	4,11	0,00	0,00	17,76
11 a 20	8,12	4,05	3,89	0,00	0,00	18,18
21 a 30	8,15	4,02	3,86	0,00	0,00	18,14
31 a 40	7,84	4,09	3,93	0,00	0,00	18,07
41 a 50	8,24	3,97	3,82	0,00	0,00	18,10
51 a 100	8,15	3,90	4,00	0,00	0,00	18,03
101 a 200	8,04	3,93	3,98	0,00	0,00	18,16
201 a 500	8,10	4,01	3,85	0,00	0,00	18,06
>501	8,03	4,02	3,87	0,00	0,00	18,05
Média	8,04	4,03	3,92	0,00	0,00	18,06

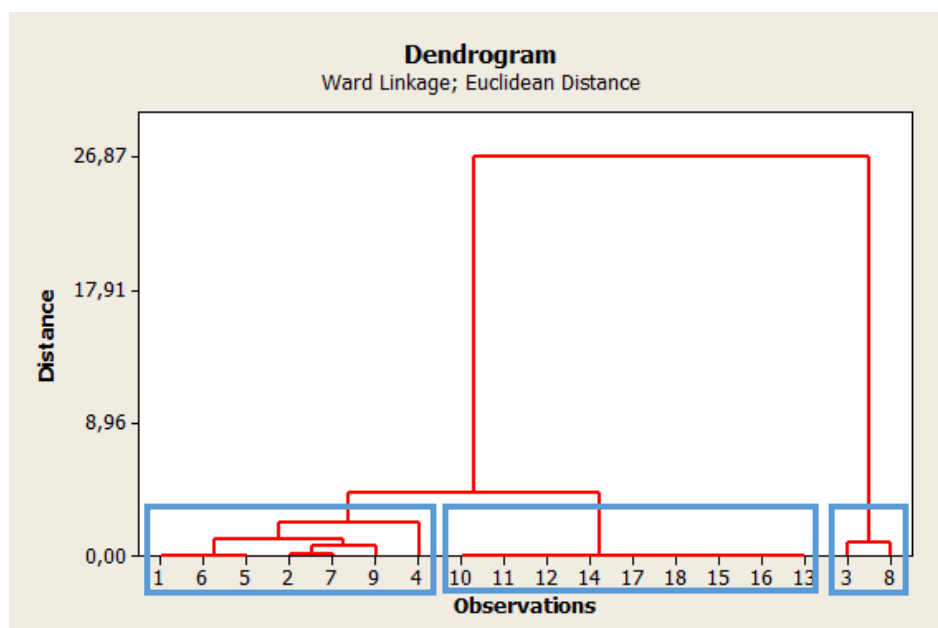
Os aumentos percentuais apresentam aumento médio em todas as faixas de consumo do ano de 2016 para 2017 de 8,04%, de 2017 para 2018 de 4,03%, de 2018 para 2019 de

3,92%, os anos de 2020 e 2021 não tiveram aumento da tarifa devido a Lei Complementar nº 173, de 27 de maio de 2020, que estabelece o Programa Federativo de Enfrentamento ao Coronavírus SARS-CoV-2 (Covid-19) havendo um novo reajuste no ano de 2022, que representou 18,06%, sendo o maior aumento registrado nos anos de análise.

6.3 Relação de Degradação com o Custo de Serviço de Água à População

A análise de agrupamentos realizada entre as variáveis degradação ambiental, fragilidade ambiental emergente e custo de água para a população pode ser observada na Figura 22 abaixo.

Figura 22: Dendrograma resultante da análise de semelhança aplicada as classes de fragilidade ambiental emergente, degradação ambiental e consumo de água pela população.



Fonte: Autor, 2024.

As classes de 1 a 18 estão descritas a seguir:

1 – Fragilidade Ambiental Muito Baixa

2 – Fragilidade Ambiental Baixa

- 3 – Fragilidade Ambiental Média
- 4 – Fragilidade Ambiental Alta
- 5 – Fragilidade Ambiental Muito Alta
- 6 – Qualidade Ambiental Alta
- 7 – Qualidade Ambiental Moderada
- 8 – Qualidade Ambiental Subcrítica
- 9 – Qualidade Ambiental Crítica
- 10 – Faixa de Consumo de 1 a 10 m³
- 11 – Faixa de Consumo de 11 a 20 m³
- 12 – Faixa de Consumo de 21 a 30 m³
- 13 – Faixa de Consumo de 31 a 40 m³
- 14 – Faixa de Consumo de 41 a 50 m³
- 15 – Faixa de Consumo de 51 a 100 m³
- 16 – Faixa de Consumo de 101 a 200 m³
- 17 – Faixa de Consumo de 201 a 500 m³
- 18 – Faixa de Consumo de >501 m³

O dendrograma apresentado na Figura 11 resultou na formação de 3 grupos, destacados em azul: i) o grupo 1, é composto por classes de fragilidade ambiental emergente e degradação ambiental; ii) o grupo 2 é formado pelas faixas de consumo de água pela população urbana; iii) o grupo 3 é formado por apenas 1 classe de fragilidade ambiental emergente (fragilidade ambiental média) e 1 classe de degradação ambiental (qualidade ambiental subcrítica)

Os resultados do grupo 1 e do grupo 3 apresentam interação entre as classes dos mesmos dados, estando presente nesse agrupamento as classes de fragilidade ambiental

emergente muito baixa, baixa, alta e muito alta, e as classes de degradação ambiental de qualidade ambiental alta, moderada e crítica.

O grupo 2 não apresenta interação com nenhuma outra classe de dado analisado, e fica restrito ao agrupamento todas as faixas de consumo de água, desde consumidores de 0 a 10 m³/mês até consumidores que utilizam uma quantidade >501 m³/mês.

Já o grupo 3 apresenta o agrupamento das classes de fragilidade ambiental média e degradação ambiental de qualidade ambiental subcrítica, que são as classes que ocupam as maiores áreas na região do estudo em todos os anos de análise deste trabalho, este agrupamento apresenta alta correlação com os outros dois grupos formados na análise de semelhança realizada, o que indica que há relação entre as variáveis analisadas, o que nos permite concluir que a hipótese do trabalho é verdadeira.

Reis (2006), propõe em seu trabalho uma investigação para estabelecer relações entre a quantidade de cobertura vegetal e o custo do tratamento de água na região do manancial do município de Piracicaba - SP, envolvendo análise do custo de sete ETAs, ao final do trabalho ela elenca as regiões com maior cobertura vegetal e nota que essas possuem os menores custos encontrados, enquanto as regiões com menor cobertura vegetal possuem os maiores custos envolvidos, e conclui então que a relação encontrada entre as duas variáveis observadas preenchem uma grande lacuna na questão da gestão da qualidade da água.

No trabalho desenvolvido por Martins et. al (2022), em bacias hidrográficas de 3 municípios localizados no sul do Estado da Bahia, conclui que a intensificação do uso na zona ripária até 100 m dos corpos hídricos superficiais possui relação direta na variação dos custos de tratamento da água para abastecimento humano e na qualidade da água dos recursos hídricos, portanto a substituição das áreas de vegetação nessas regiões alterariam de maneira significativa o custo do tratamento de água e acarretariam a diminuição da qualidade da água oferecida aos cidadãos.

6.4 Estratégias de Mitigação de Escassez Hídrica

A quantidade existente de recurso hídrico no planeta é abundante, aproximadamente 1,3 bilhões de Km³ mantendo-se constante desde o início (LOZANO, 2000) sendo que a

parte disponível para consumo é considerada mínima, mas ainda suficiente para abastecer a população mundial.

Embora os termos sejam parecidos, é preciso diferenciar seca de escassez, seca quer dizer a períodos do ano em que há pouca disponibilidade hídrica devido a questões de chuvas insuficientes (CANTOS, 2011), enquanto escassez remete que a demanda pelo recurso natural tenha superado a sua capacidade de exploração desejável (Comission of European Communities, 2023), sendo, portanto, a escassez um problema de natureza antrópica, enquanto a seca é um problema de causa natural.

O aumento da demanda pela água indica um prognóstico complexo para as futuras gerações, o que configura um desafio, no cenário internacional, de contornar a escassez, o mau uso e a má gestão dos recursos hídricos, exigindo um esforço global, em que um dos focos da ação seja o uso sustentável da água (RAMOS E ROSA, 2023).

A compreensão moderna do conceito de segurança hídrica, elabora no II Fórum Mundial da Água, em 2000, remete a proteção da água doce e dos ecossistemas, no desenvolvimento sustentável e, em especial nas regiões de maior vulnerabilidade, no acesso à água por todos, em volume suficiente, com qualidade, a preços viáveis e que lhes propicie uma vida saudável (Conselho Mundial da Água, 2000).

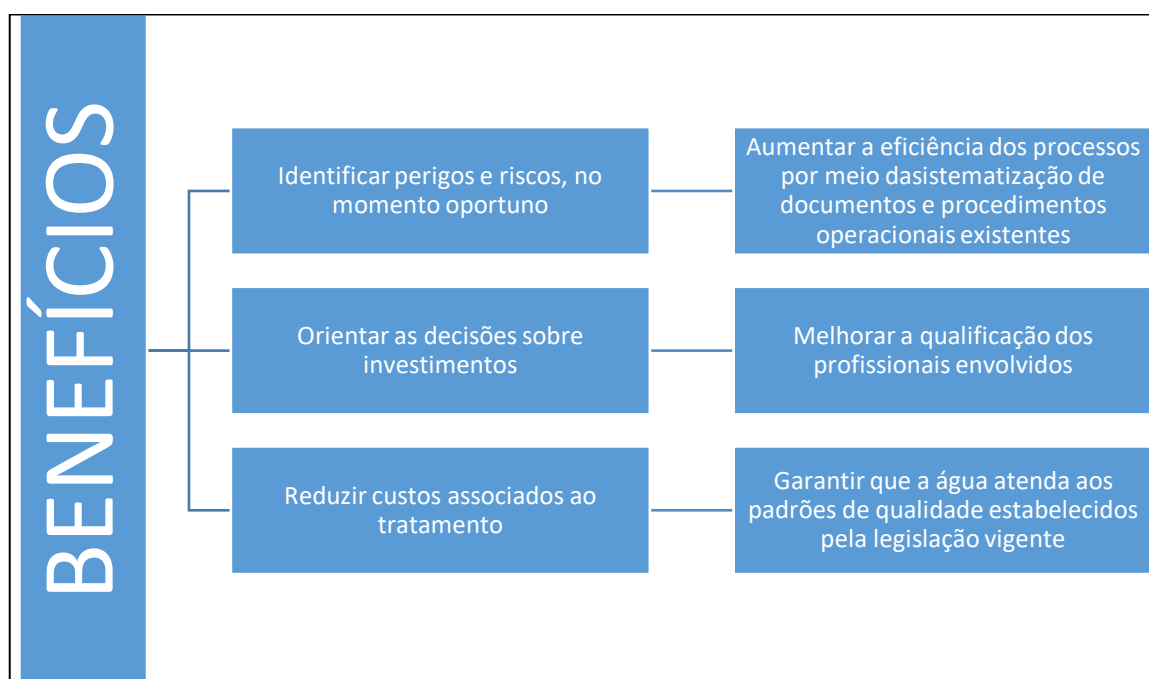
Visto o problema da escassez hídrica, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6 – Água Potável e Saneamento, visando assegurar a gestão sustentável e a disponibilidade de água para todos.

Uma estratégia criada pela ANA em território brasileiro, é o programa Produtor de Água, utilizando o conceito de pagamento por serviços ambientais, estimula os produtores a investirem no cuidado das águas, e recebem apoio financeiro e técnico para implementarem práticas conservacionistas em suas propriedades ou em áreas de reflorestamento como forma de valorizar o trabalho realizado (ANA, Produtor de Água, acesso em julho de 2024).

É importante ressaltar que o valor a ser pago aos produtores é de acordo com o serviço ambiental prestado, e podem variar dependendo da região em que se encontra, já que os projetos possuem autonomia para definir a metodologia de valoração do serviço ambiental a ser utilizada (ANA, Pagamento por Serviços Ambientais, acesso em julho de 2024).

Outra estratégia aplicada em território brasileiro para a segurança da água é o Plano Municipal de Segurança da Água, seu principal objetivo é assegurar de maneira consciente a segurança da água para abastecimento público (BARTRAM et. al., 2009), trazendo também como outros benefícios aos sistemas públicos de abastecimento público, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23: Benefícios propiciados por um PMSA



Fonte: GPDPMISA, 2020 (adaptado)

Torna-se necessário, então, a adoção de uma abordagem integrada que inclua o gerenciamento da água destinada para o abastecimento público, contemplando todas as etapas da produção da água potável, desde o manancial até a torneira do consumidor final, devendo levar em consideração a proteção dos mananciais, a definição dos padrões de qualidade, de água, a implantação dos sistemas adequados para o tratamento da água, o desenvolvimento de programas que garantam a integridade da estrutura de armazenagem e distribuição da água tratada, o monitoramento da água distribuída em diversos pontos do manancial, da estrutura de tratamento, da rede de distribuição e dos reservatórios de armazenagem, a implantação de sistema para análise e correção de eventuais desvios em relação às metas do plano de segurança (GPDPMISA, 2020).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode se observar a falta de formações florestais a mais de 30 anos na área da bacia e o seu intenso uso para atividades de agricultura e pecuária contribuem para o alto índice de antropização e em consequência o alto grau de degradação visto que quase não são encontradas formações florestais densas nativas dentro da área de estudo.

Também por conta do tipo de uso e ocupação da área, foram encontrados resultados para degradação ambiental que indicam a baixa qualidade ambiental da área, resultado que reflete a realidade de toda a bacia hidrográfica do Ribeirão Baixotes, o que demonstra a necessidade de estudos mais detalhados para a mitigação e recuperação das áreas degradadas presente na área de estudo.

Pode se concluir também que os processos de degradação ambiental e de fragilidade ambiental possuem relação direta com o uso da terra encontrado, atualmente tendo a maioria da área utilizada para a monocultura de cana-de-açúcar, o que impacta diretamente na qualidade da água oferecida aos cidadãos.

A análise de semelhança realizada neste trabalho mostra que os aumentos da tarifa da conta de água possuem relação com as características encontradas tanto para fragilidade ambiental emergentes quanto para a degradação ambiental, sendo influenciadas pelas classes de fragilidade ambiental média e qualidade ambiental subcrítica, mas os aumentos acontecem segundo uma outra “regra”.

Nota-se na análise de outros trabalhos citados que o custo do tratamento está relacionado ao tipo de uso da terra existente na área, e que quanto maior a quantidade de cobertura florestal existente no manancial menor o custo de tratamento e maior é a qualidade encontrada na água.

Portanto, como observado neste e em outros trabalhos, a vegetação é um fator de controle da degradação e da fragilidade ambiental, pois onde há formações florestais, os valores encontrados para as duas variáveis são os menores de toda a bacia.

Torna-se necessário uma atualização dos materiais de gestão utilizados, como os planos de bacia ou planos municipais de saneamento, visando a implantação de medidas que ajudem no enfrentamento dos novos desafios que surgem diariamente e que fazem referências aos recursos hídricos, tanto em quantidade como em qualidade a ser oferecida à população.

O planejamento ambiental adequado, prevê a elaboração de estratégias de mitigação de impactos ambientais negativos, que ocorrem em diversas magnitudes, sendo a gestão sustentável do solo e dos recursos hídricos uma alternativa para a sustentabilidade dos ambientes. Tal ação exigiria esforços, para proteção e conservação da vegetação e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de todos os municípios em que a bacia está presente, envolvendo também órgãos como o DAEE, o CBH – Baixo Tietê, as Secretárias de Meio Ambiente no desenvolvimento de estratégias sólidas ao combate à escassez hídrica, para que este não se torne um problema presente na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; **Pagamento por serviços ambientais.** Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua/psa-1>. Acesso em 28 de agosto de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; **Produtor de água.** Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>. Acesso em 13 de julho de 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; **O Saneamento no Brasil.** Disponível em <https://www.ana.gov.br/saneamento/>. Acesso em 13 de julho de 2024.

ALBUQUERQUE, A. M. de; RIBEIRO, J. R. C.; SALES, M. C. L.; **A aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise de degradação ambiental da área de influência direta do açude Castanhão**, Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 674-685, setembro 2019, <http://uvanet.br/rcgs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú.

ALVES, L. B.; SILVA, C. A. da; BRUGNOLLI, R. M. **As legislações das águas superficiais e a gestão de bacias hidrográficas no contexto sul-mato-grossense.** Formação (Online), v. 28, n. 53, p. 955-980, 2021

BARTRAM, J.; CORRALES, L.; DAVISON, A.; DEERE, D.; DRUDY, D.; GORDON, B.; HOWARD, G.; RINEHOLD, A.; STEVENS, M.; **Water safety pan manual: step by step risk management for drinking water supplies.** Organização Mundial da Saúde, Geneva, 2009.

BIRIGUI, Prefeitura Municipal de; **Plano Municipal de Saneamento Básico de Birigui: Elaboração do Prognóstico e Alternativas para o PMSB / Formulação de Programas, Projetos e Ações em Saneamento** / Prefeitura Municipal de Birigui. — Registro: 2016. 50 f. Coordenador: Kleber Antônio Torezan. Parte integrante do Plano Municipal de Saneamento Básico de Birigui — PROJEC Projetos e Consultoria Ltda., 2015.

BIRIGUI, Prefeitura Municipal de; Lei Municipal nº 6.436 de 06 de outubro de 2017. **Dispõe sobre a política municipal de saneamento básico e o plano municipal de saneamento básico do município de birigui.** Disponível em https://sapl.birigui.sp.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2017/6932/6932_texto_integral.pdf

BIRIGUI, Prefeitura Municipal de; Lei Municipal nº 7.274 de 12 de junho de 2023. **Dispõe sobre a criação do sistema municipal de preservação de recursos hídricos em área de captação de água do município de Birigui.** Disponível em <https://sapl.birigui.sp.leg.br/ta/239/text>. Acesso em 31 de agosto de 2023.

BLANCO-LOZANO, C.; **La tutela del derecho del agua a través del derecho penal.** J.M Bosch Edition – ISBN 978-84-7698-588-5, 2000, 608 p.

BONETTI, J. A.; FINK, J. R. **Manejo e Conservação da Água e do Solo.** Editora Universidade Federal de Lavras. Lavras -MG. 2020. 151 p

BORATTO, I. M. de P.; GOMIDE, R. L.; **Aplicação de índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região norte de Minas Gerais.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

BORJA, P. C.; **Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira.** Saúde Soc. São Paulo, v.23, n.2, p.432-447, 2014

BRANDÃO, M. H. de M.; **Índice de Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe – PB. Pernambuco,** p. 110, 2005. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geografia, área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco

BRASIL; Lei Federal nº 6938, de 19 de agosto de 1981, **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm, acesso em 20 de março de 2023

BRASIL; Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a Avaliação de Impacto Ambiental.** Diário Oficial da União, Brasília, 17 de fevereiro de 1986. Seção 1, p.2548-2549.

CARVALHO-FILHO, L.M., XAVIER-DA-SILVA, J. & ALMEIDA, L.F.B. **Methodology for Data Processing Aiming the GIS Input.** Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, The Hague, Proceedings, Volume 1, p. 30-35, 1995.

CARVALHO, L. R. et al. **Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF)** in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 278, p. 96-106, 2019

CARVALHO, M. S.; PINA, M. de F.; SANTOS, S. M. dos; **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde.** Brasília: Organização Panamericana de Saúde. 2000, 117 p.

CHASTFIELD, C., V. COLLINS, A.; **Introduction to Multivariate Analysis.** New York: Chapman e Hall, 1992.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ; **Guia Prático para o Desenvolvimento de Planos Municipais de Segurança da Água;** Editora Limiar, Piracicaba – SP, 2020 116 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB); **Águas Interiores – Histórico da Legislação Hídrica no Brasil.** Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/historico-da-legislacao-hidrica-no-brasil/> Acesso em 15 de agosto de 2023.

CONSELHO MUNDIAL DA ÁGUA, **Ministerial Declaration of the Hague on Water Security in the 21st Century.** Disponível em [https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/world_water_forum\)02/the_hague_declaration.pdf](https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/world_water_forum)02/the_hague_declaration.pdf). Acesso em 13 de julho de 2024.

DA SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M.; **Geoecologia da paisagem: zoneamento e gestão ambiental em ambientes úmidos e subúmidos**. Revista Geográfica de América Central, v. 2, 2011, p. 1-12.

DIAS, N. O.; FIGUEIROA, C. F. B.; **Potencialidades de uso das geotecnologias para a gestão e planejamento de unidades de conservação**; Revista de Geografia v. 10, n. 2, p. 283-302, ISSN: 2236-837X, 2020.

FLORENZANO, T. G.; **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G.; **Geomorfologia: Tecnologias e conceitos atuais**. São Paulo, Oficina de textos, 2008, 318 p

FREITAS, A. R.; **Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, sudoeste do Paraná: análise quantitativa e qualitativa mediante a utilização da metodologia do IDA**. Revista GEOgrafias, v. 16, nº1, jan/jun 2020.

GOOGLE; **Introdução ao Google Earth Engine**. Disponível em https://www.google.com/intl/pt-BR_br/earth/outreach/learn/introduction-to-google-earth-engine/ Acesso em 10 de dezembro de 2022.

GOMES RUBIRA, F.; **Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental** Caderno de Geografia, vol. 26, núm. 45, 2016, pp. 134-150 Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Belo Horizonte, Brasil.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648 p

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; **Birigui**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/birigui/panorama>. Acesso em 21 de junho de 2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; **Birigui**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/birigui/histórico>. Acesso em 01 de outubro de 2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; **Brejo Alegre**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/brejo-alegre/panorama>. Acesso em 21 de junho de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; **Brejo Alegre**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/brejo-alegre/histórico>. Acesso em 01 de outubro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; **Coroados**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/coroados/panorama>. Acesso em 21 de junho de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; **Coroados**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/coroados/histórico>. Acesso em 01 outubro de 2023.

KAZMIERCZAK, M. L.; SEABRA, F. B.; **Índice de susceptibilidade de degradação ambiental (ISDA) em áreas do cerrado paulista**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2745-2752.

LEAL, A. C.; **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca - Campinas, SP.** Rio Claro, 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio ambiente) – IGCE Campus de Rio Claro, 1995, 154p.

LEANDRO, G. R. dos S.; ROCHA, P. C.; **Expansão agropecuária e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Sepotuba – Alto Paraguai, Mato Grosso, Brasil.** Sociedade & Natureza, Uberlândia – MG, V. 31, 2019, 22p.

MACEDO, J. L. de V.; **Sistemas Agroflorestais: Princípios Básicos.** Manaus: Instituto Amazônia, 33 p. 2013.

MAGANHOTTO, R. F.; SOUZA, L. C. de P.; JUNIOR, J. C. O.; LOHMANN, M.; **O uso de geotecnologias no planejamento ambiental de unidades de conservação: Estudo de caso reserva biológica das araucárias.** Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 4821-4833, 2017.

MARTINS, D. V.R.; ROCHA, J.; SILVA, T. M.; CAMPIOLO, S.; **Avaliando a relação entre a qualidade e os custos de tratamento de água e a alteração dos usos do solo em múltiplas escalas espaciais: um caso de estudo de bacias hidrográficas do sul da Bahia, Brasil.** Eng Sanit Ambient, v.27 n° 4 jul/agi 2022, 73-782.

MINGOTI, S. A.; **Análise de dados através de métodos de Estatística Multivariada – uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA; **Mata Atlântica;** Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/mata-atlantica>. Acesso em 30 de setembro de 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, 37, p.123-136, São Paulo, 2019.

NETO, M. C. P.; FERNANDES, E.; **Instabilidade emergente e os aspectos da degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB – Brasil).** Revista de Geografia (Recife), V. 33, n° 1, p 84-97, 2016.

OLIVEIRA, J. D. A.; MOURA, G. B. de A.; NASCIMENTO, C. R.; LOPES, P. M. O.; NÓBREGA, R. S.; **Avaliação de degradação e mudanças ambientais na bacia hidrográfica do Alto Ipanema.** Revista Brasileira de Meteorologia, V. 35, n° 4, 585-596, 2020.

OTOMO, J. I.; CARDOSO SILVA, S.; SANTOS, W. D. S. dos; JARDIM, E. A.M.; POMPEO, M.; **Avaliação de políticas para preservação e recuperação de mananciais de abastecimento público da região metropolitana de São Paulo.** In: POMPEO, M. (org.); MOSHINI CARLOS, V. (org.); NISHIMURA, P. Y. (org.); SILVA, S. C. da (org.); DOVAL, J. C. L. (org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces.** São Paulo, SP: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 460. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/23610>. Acesso em: 07 jun. 2022.

PEREIRA, G.; **A natureza (dos) nos fatos urbanos,** Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 3, p. 33-51, jan./jun. 2001. Editora da UFPR

PINTO, N. G. M.; CONTE, B. P.; CORONEL, D. A.; **A degradação ambiental agropecuária de Santa Catarina**, Espacios, Vol 36 (nº 24), 2015.

PINTO, N. G. M., ROSSATO, V. P., & CORONEL, D. A. (2019). **Degradação Ambiental Agropecuária na América Latina: uma abordagem de índices nos países da região**. Desenvolvimento Em Questão, 17(46), 218–235. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2019.46.218-235>, 2019.

QUADRA, G. R; TEIXEIRA, J. R. P. V. A.; BARROS, N.; ROLAND, F.; AMADO; A. M.; **Water pollution: one of the main Limnology challenges in the Anthropocene**. Acta Limnologica Brasiliensia, 2019, vol. 31, e203

RAMOS, A. L. S; ROSA, A. M.; **Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência de sustentabilidade**. In MORENO, J. M (org.); ORITX, M. I. L (org.); ARACIL (org.); **SEGURIDAD HÍDRICA**, Universitat d’Alicant, 2023, IBSN: 978-84-1302-234-5

REIS, L. V. de S.; **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial de município de Piracicaba**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 215 p. 2004.

RODRIGUES, A. M.; **Produção e consumo do e no espaço: problemática ambiental urbana**. São Paulo: Hucitec, 1998

RODRIGUEZ, J. M. M.; **Planejamento ambiental como campo de ação da geografia**. In: 5º Congresso Brasileiro de Geógrafos, 1994, Curitiba/PR. Anais... Curitiba: AGB, 1994, v.1, p.582-594.

ROGALSKI, S. R.; **Índice de degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Olarias, em Ponta Grossa – PR, entre 1980 e 2005**. Dissertação (Mestrado em Geografia – Gestão do Território) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – PR, 2011, 144f.

ROSIN, J. A. R. de G.; **Áreas de mananciais: desafios dos programas de intervenções urbanas em áreas protegidas da sub-bacia da Billings, São Bernardo do Campo**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 07, nº 50, 2019, ISSN 2318-8472.

ROSS, J. L. S.; **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**; Revista do Departamento de Geografia, 8. p .63-74: São Paulo. 1994.

ROSSI, W., CASTELLO BRANCO, L., LACERDA, J. A., GOMES, A. C., & WAGNER, E. M. S.; **Fontes de Poluição e o Controle da Degradação Ambiental dos Rios Urbanos em Salvador**. Revista Interdisciplinar de Gestão Social, 1, 2012. <https://doi.org/10.9771/23172428rigs.v1i1.12068>

SANTOS, C. Z.; **Alterações socioambientais na bacia hidrográfica do ribeirão do Lajeado no município de Paraibuna – SP (Dissertação de mestrado)**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, 2007.

SANTOS, E. de O.; MEDEIROS, P. R. P.; **A Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio**; Sociedade e Natureza, Uberlândia, MG, v.35, e66441, 2023, ISSN 1982-451

SÃO PAULO, **DATAGEO – Geologia do Estado de São Paulo – CPRM 2006**. Disponível em https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/?title=Mapa+Pedol%C3%B3gico+do+Estado+de+S%C3%A3o+Paulo+-+2017&uuid=%7B55BEBB03-44B1-4955-914A-188C995DE8F1%7D&layer=PEDOLOGICO_ROSSI_2017_POL&resource=wms%3Ahttps%3A%2F%2Fdatageo.ambiente.sp.gov.br%2Fgeoserver%2Fdatageo%2Fows%3FSERVICE%3DWMS%26&bbox=-19.4512,-53.2943,-43.8523,-25.4597&layer=PEDOLOGICO_ROSSI_2017_POL&servidorMetadados=https://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoportal/csw#. Acesso em 01 de outubro de 2023

SÃO PAULO, Lei Estadual nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. **Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências**. Disponível em https://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1997_Lei_Est_9866.pdf Acesso em 31 de agosto de 2023.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. Marcio Rossi. – São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118p.

SÃO PAULO (Estado); **Portal Mananciais**. Disponível em <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/portalmananciais/legislacao-estadual/> Acesso em 31 de agosto de 2023.

SILVA, P. R.; **Análise Prospectiva de Diferentes Cenários de Uso do Solo e Práticas de Manejo e Conservação de Água e Solo em Bacias Hidrográficas Agrícolas**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-/2022, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 191p.

STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A. de. **O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, p. 118–128, 2018.

THE NATURE CONSERVANCY; **25 anos da Lei das Águas no Brasil: conquistas, desafios e ameaças com o PL do Novo Marco Hídrico**. 24 de fevereiro de 2022. Disponível em <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/lei-das-aguas/>. Acesso em 31 de agosto de 2023.

TROMBETA, L. R.; LEAL, A. C.; **Planejamento ambiental e geoecologia das paisagens: Contribuições para a bacia hidrográfica do córrego Guaíçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil**. Revista Formação (ONLINE) Vol. 3; n.23, mai-ago/2016. 187-216. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X

UNIÃO EUROPEIA – COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; **Communication from the commission to the European Parliament and the council: addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union**. Disponível me <https://eur-lex.europa.eu/lexuriserv/lexuriserv.do?uri=com:2007:0414:fin:en.pdf>. Acesso em 13 de julho de 2024.

VAGULA, P. R. **Fragilidade ambiental aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão Mandaguari, oeste do estado de São Paulo, Brasil.** Dissertação. FCT/UNESP, São Paulo, 2019)

VIEIRA, C. D.; OLIVEIRA, A. E. F. de; ALVES, W. G.; LEÃO, O. M. da R.; **Análise da degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Alcântara no município de São Gonçalo, leste metropolitana do Rio de Janeiro.** Revista Equador (UFPI), Vol. 5, Nº 4 (Edição Especial 03), p.93 – 105.

VOLCHKO, D. **Da extensão do campo à centralização do urbano: elementos para o debate da produção do espaço em Mato Grosso.** Revista Mato-Grossense de Geografia - Cuiabá - n. 16 - p. 18 - 38 - jan/jun 2013.

WEID, J. M. **A promoção do desenvolvimento rural sustentável e o papel do movimento sindical dos trabalhadores e trabalhadora rurais.** Comentários e subsídios ao documento base para o VII Congresso Nacional dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais. Brasília: Contag, 1997.