

HETIANY FERREIRA DA COSTA

**ANÁLISE TEMPORAL DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABUÇU, IBIÚNA, SP**

Sorocaba
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*

HETIANY FERREIRA DA COSTA

**ANÁLISE TEMPORAL DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABUÇU, IBIÚNA, SP**

Dissertação apresentada como requisito
para a obtenção do título de Mestre em
Ciências Ambientais da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
na Área de Concentração Diagnóstico,
Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner
Lourenço

Sorocaba
2020

C837a Costa, Hetiany Ferreira da
Análise temporal da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica
do Rio Sorocabuçu, Ibiúna, SP / Hetiany Ferreira da Costa. --
Sorocaba, 2020
82 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Roberto Wagner Lourenço

1. Sistemas de Informações Geográficas. 2. Fragilidade Ambiental.
3. Predição de Cenários Futuros. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Análise Temporal da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, Ibiúna, SP

AUTORA: HETIANY FERREIRA DA COSTA

ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENÇO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS,
área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
Departamento de Engenharia de Pesca / Unesp - Câmpus de Registro

Prof. Dr. ADMILSON IRIO RIBEIRO
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba

Sorocaba, 04 de fevereiro de 2020

Aos meus pais, Edirene e João Carlos,
e ao meu irmão Helton, com todo o amor.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Roberto Wagner Lourenço “China”, pela oportunidade, por toda paciência e ensinamento, pela boa convivência e por contribuir com o meu crescimento.

Aos meus pais e meu irmão por todo amor e carinho, por compreenderem e me apoiarem; por tudo que fizeram, fazem e ainda irão fazer por mim. Agradeço por terem me ensinado, mesmo que inconscientemente, a ir além das palavras, que nossas ações e atitudes são fundamentais e dizem muito sobre nós e sobre o que sentimos. Eu amo vocês e agradeço imensamente por tudo.

Ao laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental (Jomil, Elfany, Bruno, Amazonino, Fábio) por todo o apoio, cumplicidade e ensinamento. Às meninas (Bruna, Rita, Jocy, Bruna “B2” e Amanda) por todos os dias, risadas, pelas viagens acadêmicas e não acadêmicas, pelo apoio e por cada coisa que me ensinaram, pelas diferenças e por aguentarem minhas estranhezas (que não são poucas), por deixarem essa jornada mais leve. Obrigada, também, à Giovana por todo suporte técnico e doce de leite.

Aos meus amigos de muitos anos, vários anos, alguns anos e ano; aos meus amigos de perto e de longe; agradeço por toda conversa sobre a vida e sobre nada, por cada conselho e puxão de orelha, cada risada, choro e os dois juntos, por cada viagem que aconteceu fisicamente ou não, por todas as aventuras e por cada momento. Agradeço por entenderem a distância e a ausência, o nervosismo e o estresse, as peculiaridades e por todo o apoio que me deram, principalmente nesse último ano... e que ano. Vocês sabem exatamente tudo que fizeram por mim e eu sou extremamente grata por cada momento que passamos. Cada um de vocês tem um pedaço do meu coração.

À minha família, por mesmo sem entender muito bem, apoiaram essa escolha; por me incentivarem e vibrarem à cada conquista, sem importar o tamanho delas; por falarem demais e às vezes muito alto, mas renderem várias risadas; por cada história e por cada final de semana juntos que me ajudou a deixar a dissertação um pouco de lado e espairecer.

À uma criança espertíssima de 7 anos chamada Laisa, que faz umas perguntas e constatações estranhas, que me pergunta sobre o corpo humano, os animais e a natureza, além de ter umas ideias maravilhosas e ao menino mais lindo e falante, que me ensina sobre

dinossauros e me mandou áudios exatamente nos dias que eu mais precisei. Vocês não sabem, mas vocês deixam meu mundo mais leve e colorido.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e aos funcionários, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais por proporcionarem o necessário para a realização da dissertação.

À todos, muito obrigada!

“Eu costumava achar que eu era a pessoa mais estranha do mundo, mas aí eu pensei: tem que ter alguém como eu, que se sinta bizarra e imperfeita, da mesma maneira como eu me sinto. E eu imaginava esta pessoa, imaginava que ela também estivesse lá pensando em mim. Bom, espero que se você for essa pessoa e estiver lendo isto, saiba que sim é verdade, estou aqui! Sou estranha como você.”

Frida Kahlo

COSTA, H.F. **Análise temporal da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, Ibiúna, SP.** 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2020.

RESUMO

O mapeamento da Fragilidade Ambiental é de extrema importância uma vez que integram variáveis naturais e antrópicas a fim de evidenciar as adequações no uso da terra, além de servirem como subsídio para o planejamento e gestão ambiental de paisagens no geral. Outro produto usado para auxiliar em tomadas de decisões é a simulação de cenários futuros do uso do solo e cobertura vegetal, onde conhecer uma possibilidade de cenário futuro auxilia no planejamento de caminhos para atingir ou distanciar desse cenário final. Assim, o objetivo desse estudo é elaborar e comparar o uso do solo e cobertura vegetal e a Fragilidade Ambiental entre 2010 e 2019, e desenvolver modelo baseado na Cadeia de Markov cenários futuros para a área. O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, situado em Ibiúna, São Paulo. A área está inserida no bioma Mata Atlântica, apresentando grande importância ambiental por estar inserida na Área de Preservação Ambiental de Itupararanga. A metodologia foi iniciada pela construção da base cartográfica de apoio, divisão das sub-bacias e no mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal para 2010 (a partir de ortoimagens do sensor Vexcel Ultracam) e posterior retificação para 2019, utilizado para extrair os fragmentos florestais e gerar a fragilidade emergente baseada no grau de modificação que as diferentes classe de uso do solo e cobertura vegetal possui. Também foi gerada a declividade e extraído a pedologia da área a partir do mapeamento feito para o Estado de São Paulo. A declividade, pedologia e os fragmentos florestais foram utilizadas para gerar a Fragilidade Potencial. A Fragilidade Ambiental foi gerada a partir dos produtos obtidos na Fragilidade Potencial e Emergente. A partir do *software* TerrSet 18.10, pelo módulo *Markov* e *CA_Markov*, foi realizada a simulação de estado futuro do uso do solo e cobertura vegetal com posterior geração da Fragilidade Ambiental para 2028. A área de estudo apresenta, em sua maioria, Fragilidade Potencial muito baixa tanto para 2010 quanto para 2019 (49,59% e 49,86%, respectivamente) e o menor representativo é para alto grau de Fragilidade Potencial (0,71% e 0,77%). A Fragilidade Emergente é representada pelo muito baixo grau de modificação (54,22% e 53,09%), classe representada pelas matas e corpos d'água, e a menor representação é a média Fragilidade Emergente (2,13% e 2,45%). A Fragilidade Ambiental se concentra entre os graus muito baixo e baixo, somando aproximadamente 92% em ambas as datas, e não apresenta o alto e muito alto grau de fragilidade ambiental. Através da matriz de probabilidade de transição entre 2019 e 2028, obteve-se que a classe campo possui a maior probabilidade de mudança. As classes de campo e reflorestamento são as que apresentam maior probabilidade de substituírem as áreas ocupadas por vegetação. Foi possível verificar, também, que a diminuição de 1,7 km² das matas e o aumento das Áreas Urbanizadas. Quanto ao cenário da Fragilidade Ambiental em 2028, houve o aumento de aproximadamente 2 km² para o médio grau, além do aparecimento do alto grau de Fragilidade Ambiental. A muito baixa/baixa fragilidade da área se deu pela presença de solo de baixa fragilidade, declividade em sua extrema maioria de média fragilidade e grande presença de remanescente florestal. A proposta do cenário futuro indicou o aumento das áreas antrópicas e consequente diminuição das áreas com cobertura vegetal, bem como o aumento da fragmentação florestal.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental, Cadeias de Markov, Geoprocessamento

COSTA, H.F. **Temporal analysis of Environmental Fragility in the Sorocabuçu River Basin, Ibiúna, SP.** 2020. 82 f. Dissertation (Master in Environmental Sciences) - Institute of Science and Technology of Sorocaba, UNESP - São Paulo State University, Sorocaba, 2020.

ABSTRACT

The mapping of Environmental Fragility is extremely important as it integrates natural and anthropogenic variables in order to highlight land use adequacy, as well as serving as a subsidy for the planning and environmental management of landscapes in general. Another product used to assist in decision-making is the simulations of possible future scenarios of land and use occupation, where knowing a possibility of this helps in planning the paths to reach or distance from this final scenario. Therefore, the aim of this research was to elaborate and compare the land use and occupation and environmental fragility between 2010 – 2019 and to develop a model based on Markov Chain to simulate future scenarios. The research was developed in Sorocabuçu River Watershed, located in Ibiúna, São Paulo. Inserted in the Atlantic Forest biome and mainly in the Itupararanga Environmental Preservation Area, the watershed presents great environmental relevance. The methodology applied was initiated by the construction of the cartography base support, division of subwatershed and in the mapping of land use and occupation for (from orthoimaging of the Vexcel Ultracam sensor) and subsequent rectification to 2019, used to extract the forest fragments and generate the emerging fragility based on the degree of modification that different class of use and occupation has. Also, the slope was generated and the pedology of the area was extracted from mapping carried out for the State of São Paulo. The slope, pedology and forest fragments were used to generate potential fragility. The environmental fragility was generated from the products obtained in potential and emergent fragility. From the TerrSet 18.10 software, from “Markov” and “CA_Markov” modules it was carried out the simulation of future scenario of the land use and occupation and environmental fragility. Most of the study area has very low potential fragility both for 2010 and 2019 (49,59% and 49,86%, respectively) and the lowest representative is for a high degree of potential fragility (0,71% and 0,77%). Emergent fragility is also more represented by the very low degree of change for 2010 and 2019 (54,22% and 53,09%), a class represented by the forests, and the lowest representation is the average emergent fragility (2,13% and 2,45%). Environmental fragility is concentrated between very low and low extent, accounting for approximately 92% in 2010 and 2019, and no presents high and very high degree of environmental fragility. Through the transition probability matrix between 2019 and 2028, it was obtained that the field class has the highest probability of change. Field and reforestation classes are those most likely to replace areas occupied by vegetation. It was also possible to verify that the decrease of 1.7 km² of forests and the increase of urbanized areas. Regarding the scenario of Environmental Fragility in 2028, there was an increase of approximately 2 km² for the medium degree, in addition to the appearance of the high degree of Environmental Fragility. The very low/low fragility of the area was due to the presence of soil of low fragility, slope in its extreme majority of medium fragility and great presence of remnant forest. The proposal of the future scenario indicated the increase of anthropic areas and consequent decrease of areas with vegetation cover, as well as the increase of forest fragmentation.

Keywords: Environmental Fragility, Markov Chain, Geoprocessing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de trabalho.	24
Figura 2. Mapa de localização da BHRS.....	25
Figura 3. Articulação das cartas topográficas utilizadas.	27
Figura 4. Mapa Base da BHRS.....	35
Figura 5. Sub-bacias da BHRS.	36
Figura 6. Declividade, em porcentagem, da BHRS.....	37
Figura 7. Mapa pedológico da BHRS.....	38
Figura 8. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da BHRS.	41
Figura 9. Mapa dos Fragmentos Florestais da BHRS.	44
Figura 10. Gráfico dos graus de Fragilidade Potencial por variável e final para 2010 e 2019 da BHRS.....	45
Figura 11. Mapa da Fragilidade Potencial para a variável declividade da BHRS.....	48
Figura 12. Mapa da Fragilidade Potencial para a variável pedologia da BHRS.	50
Figura 13. Mapas da Fragilidade Potencial para a variável fragmentos florestais (2010 e 2019) da BHRS.....	51
Figura 14. Mapa da Fragilidade Potencial da BHRS.	53
Figura 15. Gráfico dos graus de Fragilidade Potencial por variável e final para 2010 e 2019 da BHRS.....	54
Figura 16. Fragilidade Emergente da BHRS.	56
Figura 17. Fragilidade Ambiental da BHRS.	59
Figura 18. Grau de prioridade por sub-bacia da BHRS.....	61
Figura 19. Mapa de predição do uso do solo e cobertura vegetal para 2028 da BHRS.	64
Figura 20. Gráfico do quantitativo do uso do solo e cobertura vegetal para 2010, 2019 e 2028 na BHRS.....	65
Figura 21. Fragmentos Florestais da BHRS em 2028.	66
Figura 22. Gráfico do quantitativo dos fragmentos florestais para 2010, 2019 e 2028 na BHRS.....	67
Figura 23. Fragilidade Potencial de 2028 da BHRS.....	68
Figura 24. Fragilidade Emergente Potencial de 2028 da BHRS.	69
Figura 25. Fragilidade Ambiental de 2028 da BHRS.....	71
Figura 26. Gráfico do quantitativo das Fragilidade Potencial, Emergente e Ambiental para 2010, 2019 e 2028 na BHRS.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de relevo.....	28
Tabela 2. Classe e tamanho dos fragmentos florestais	29
Tabela 3. Grau de fragilidade por classe de declividade	31
Tabela 4. Grau de fragilidade por tipo de solo	31
Tabela 5. Grau de fragilidade por tamanho de fragmento florestal.....	32
Tabela 6. Grau de modificação por classe de uso do solo e cobertura vegetal	33
Tabela 7. Grau de fragilidade ambiental	33
Tabela 8. Quantitativo das sub-bacias da BHRS	36
Tabela 9. Quantitativo das classes de declividade da BHRS	38
Tabela 10. Quantitativo do Mapa Pedológico da BHRS, Ibiúna, SP	39
Tabela 11. Quantitativo das classes de uso do solo e cobertura vegetal da BHRS	42
Tabela 12. Quantitativo dos fragmentos florestais da BHRS	44
Tabela 13. Quantitativo de ganho e perda de área entre 2010 e 2019 na BHRS.....	47
Tabela 14. Quantitativo da Fragilidade Potencial para a variável declividade da BHRS	49
Tabela 15. Quantitativo da Fragilidade Potencial pedologia da BHRS	50
Tabela 16. Quantitativo dos graus de fragilidade potencial dos fragmentos florestais da BHRS	52
Tabela 17. Quantitativo da Fragilidade Potencial da BHRS	54
Tabela 18. Quantitativo da Fragilidade Emergente da BHRS	57
Tabela 19. Quantitativo da Fragilidade Ambiental da BHRS	60
Tabela 20. Quantitativo dos graus de fragilidade por sub-bacia da BHRS	61
Tabela 21. Quantitativo das classes de uso do solo e cobertura vegetal de 2028 da BRHS	64
Tabela 22. Quantitativo dos fragmentos florestais de 2028 da BRHS	66
Tabela 23. Quantitativo dos graus de Fragilidade Potencial de 2028	68
Tabela 24. Quantitativo dos graus de Fragilidade Emergente de 2028.....	70
Tabela 25. Quantitativo dos graus de Fragilidade Ambiental de 2028 da BHRS	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

AHP	= Processo Hierárquico Analítico
AMC	= Análise Multicritério
APA	= Área de Preservação Permanente
BHRS	= Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu
CX	= Cambissolo Háplico
GM	= Gleissolo Melânico
GPS	= Sistemas de Posicionamento Global
ha	= Hectares
IF	= Instituto Florestal
IFA	= Índice de Fragilidade Ambiental
IGC	= Instituto Geográfico Cartográfico
km ²	= Quilômetros quadrados
LVA	= Latossolo Vermelho-Amarelo
MDT	= Modelo Digital de Terreno
MOLA	= Alocação Multi-objetiva do Terreno
NDVI	= Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
SGB	= Sistema Geodésico Brasileiro
SIG	= Sistemas de Informações Geográficas
SR	= Sensoriamento Remoto
TIN	= <i>Triangulated Irregular Network</i>
UGRHI	= Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1.	Fragilidade Ambiental.....	17
2.2.	Geoprocessamento	19
2.2.1.	Sistemas de Informações Geográficas	20
2.3.	Importância dos Modelos de Predição de Cenário Futuro	20
2.3.1.	Cadeia de Markov.....	21
3.	OBJETIVOS	23
3.1.	Objetivo geral.....	23
3.2.	Objetivos específicos	23
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1.	Área de estudo	24
4.2.	Materiais	26
4.3.	Procedimentos metodológicos.....	26
4.3.1.	Elaboração da Base Cartográfica	26
4.3.2.	Elaboração do Mapa de Declividade	27
4.3.3.	Pedologia	28
4.3.4.	Uso do solo e cobertura vegetal	28
4.3.5.	Transição da mudança de uso do solo e cobertura vegetal entre 2010 e 2019	29
4.3.6.	Mapeamento da Fragilidade Ambiental.....	30
4.3.7.	Modelo de Predição para 2028	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1.	Base cartográfica	35
5.2.	Mapa de Declividade	36
5.3.	Mapa pedológico	38
5.4.	Mapa de uso do solo e cobertura vegetal	40
5.5.	Transição da mudança de uso da terra entre 2010 e 2019	46
5.6.	Mapeamento da Fragilidade Ambiental.....	48
5.6.1.	Mapa da Fragilidade Potencial	48
5.6.2.	Mapa da Fragilidade Emergente	55
5.6.3.	Mapa da Fragilidade Ambiental	58
5.7.	Predição de Cenário Futuro	63

6. CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE	82

1. INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo, os recursos naturais começaram a ser utilizados de forma desenfreada, além do aumento populacional e economia baseada no consumo, causando modificações no uso do solo e cobertura vegetal, consequentemente levaram ao desequilíbrio ambiental, desencadeando a outros processos de degradação do ambiente. Atualmente, o cenário ambiental se mostra complexo e premente de intervenções a fim de minimizar os impactos negativos ocasionados pelas atividades antrópicas. Assim, tornou-se imprescindível considerar e integrar o meio antrópico em estudos ambientais, e também, a fim de auxiliar e garantir que o manejo sustentável dos recursos naturais.

O mapeamento da Fragilidade Ambiental torna-se importante por integrar diversas variáveis que interferem na potencialidade do recurso natural, já que mostra a realidade de forma mais clara, evidenciando as adequações que são necessárias no uso do solo e cobertura vegetal. Além disso, auxiliam nas diretrizes e ações a serem propostas e implantadas, embasando assim o zoneamento ambiental e a gestão territorial (SPÖRL; ROSS, 2004, GONÇALVES et al., 2011).

Desta maneira, estudar a Fragilidade Potencial e a Fragilidade Emergente pode contribuir de forma significativa para o entendimento das pressões e vulnerabilidades que se colocam frente as ações antrópicas no meio ambiente. A Fragilidade Potencial é a vulnerabilidade natural do ambiente, onde se considera as características físicas, como, declividade, pedologia e precipitação; já a Fragilidade Emergente é representada pelos diferentes graus de proteção do solo relacionado ao uso e ocupação do solo em relação ao meio físico (ROSS, 1992; GONÇALVES et al., 2011; ALVES, 2017).

Diante dessa perspectiva, esse estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, situada em Ibiúna. A área de estudo em questão está inserida dentro da Área de Proteção Ambiental de Itupararanga (APA Itupararanga) e no bioma Mata Atlântica.

Essa pesquisa está separada em três partes: (a) a construção da base cartográfica e dados de entrada, como informações planimétricas, altimétricas, declividade, pedologia, uso do solo e cobertura vegetal; (b) a determinação da Fragilidade Potencial, Emergente e Ambiental, e por fim; (c) modelagem de cenários futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fragilidade Ambiental

Para descrever o conceito Fragilidade Ambiental tem sido empregados diversos termos, como susceptibilidade, vulnerabilidade, resistência, resiliência e estabilidade, mas apesar da divergência na forma conceitual, todos utilizam a interação entre os componentes naturais e antrópicos. Independente da conceituação, a fragilidade ambiental é a união entre a fragilidade potencial, onde é levado em consideração apenas as características físicas naturais do ambiente; e a fragilidade emergente, caracterizada pelas atividades antrópicas (ROSS, 2012).

Ross (1994) estabeleceu, fundamentado pelo conceito de Unidades Ecodinâmicas (TRICART, 1977), o termo Unidades Ecodinâmicas Instáveis, classificando-as de muito fracas a muito fortes, podendo chegar ao diagnóstico das diferentes classes da fragilidade do ambiente. Para que este pudesse ser utilizado como subsídio para o planejamento ambiental, foi acrescentado um novo termo, o da Instabilidade Emergente, onde é acrescentado as características antrópicas do ambiente (ROSS, 1994).

Vitte e Santos (1999), para chegar ao conceito de Fragilidade Ambiental, analisaram os termos separadamente. Algo frágil, segundo o dicionário Michaelis (2019), é algo que possui pouca resistência, com pouca duração, que se rompe com facilidade; e ambiente é o “conjunto de condições físicas, biológicas e químicas que rodeiam os seres vivos e coisas”. Sendo assim, o termo Fragilidade Ambiental pode ser entendido como o quanto o meio ambiente consegue resistir à fenômenos externos, ou seja, um ambiente mais frágil consegue resistir menos à estresses do que um ambiente menos frágil.

Para Ghezzi (2003), a Fragilidade Ambiental é a vulnerabilidade que um ambiente apresenta a determinado tipo de uso do solo e cobertura vegetal natural ou antrópica, e tem como objetivo observar e mostrar como o ambiente natural se comporta com a presença de interferência antrópica. Já segundo Gayoso (2014), a Fragilidade Ambiental é entendida como a resistência do sistema perante a exposição de elementos externos, ou seja, o quão fácil é para o sistema perder seu equilíbrio dinâmico.

Rocha et al. (2018), falaram que a análise tem como maior objetivo evitar ou diminuir a degradação do ambiente, e manter sua estabilidade. O autor ainda salienta que as análises ambientais, incluindo a fragilidade, devem ser feitos de maneira integrada e holística, a fim de modelar o ambiente corretamente.

Nesse trabalho, o conceito de Fragilidade Ambiental utilizado é o quão resistente o sistema ambiental é perante a exposição antrópica, sendo ambientes com maior grau de Fragilidade Ambiental aqueles que apresentam menor resistência.

Independente da definição, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar o conhecimento sobre a Fragilidade Ambiental do sistema e as consequências e medidas preventivas que possam ser adotadas para alcançar o desenvolvimento sustentável perante o apresentado pela Fragilidade Emergente.

Com o avanço das tecnologias de análise espacial, tem sido observado maior facilidade de integração entre as variáveis utilizadas na análise da Fragilidade Ambiental.

Uma das mais importantes ferramentas de análise ambiental, diz respeito aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Um dos primeiros estudos da fragilidade ambiental utilizando SIG foi realizado por Rosa e Ross (1999) e como resultado foram gerados dois mapas de Fragilidade Ambiental. Como atributos comuns foram utilizados solo e cobertura vegetal, e um sendo utilizado o índice de dissecação do relevo, e outro utilizando a declividade. Os autores concluíram que o uso da declividade se mostrou mais detalhista, e que a utilização de SIG apresenta eficiência e rapidez.

Sporl e Ross (2004), após compararem 3 metodologias – proposta de Crepani et al. (2001), e duas propostas de Ross (1994) – concluíram que as metodologias se mostram eficientes pela rapidez dos resultados, mas deficientes diante a subjetividade que os pesos atribuídos em cada atributo podem apresentar.

Queiroz Junior et al. (2014) através da proposta de Ross (1994), utilizaram os dados de uso do solo e cobertura vegetal de dois anos (2009 e 2011) para mostrar a influência do uso do solo e cobertura vegetal para determinar a Fragilidade Ambiental.

Bacani et al. (2015) obtiveram o mapa da Fragilidade Ambiental através de metodologia proposta por Ross (1994), mas com adaptações baseadas nas ponderações de cada classe propostas de Crepani et al. (2001). Outra adaptação feita pelos autores foi acrescentar a pluviosidade e a riqueza da biodiversidade como atributo, além da utilização de lógica *fuzzy* para a obter as classes de fragilidade.

Além dos fatores propostos na metodologia de Ross (1994), Bacani et al. (2015) utilizaram o fator pluviosidade e áreas prioritárias para conservação da biodiversidade para mapear a fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica, tendo a lógica *fuzzy* como apoio no ordenamento.

Garófalo e Ferreira (2015) propuseram um procedimento alternativo para o mapeamento da Fragilidade Ambiental. Para os autores, as três principais particularidades da metodologia proposta foi (a) o uso da análise estatística para a estimar o valor dos pesos das variáveis; (b) utilização de classificação contínua e; (c) dar uma possibilidade de metodologia para locais onde os mapas de pedologia e geologia não esteja disponível em escala adequada. As variáveis utilizadas foram Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), declividade, densidade de lineamentos estruturais, densidade de vias de circulação e probabilidade de ocorrência de chuvas intensas.

Traficante et al. (2017) realizou o estudo da fragilidade ambiental através da metodologia proposta por Ross (1994, 2012), utilizando como fatores o solo, declividade, geologia e o uso do solo e cobertura vegetal. Como auxílio na tomada de decisão utilizou a Análise de Multicritério (AMC) e para a definição dos pesos o Processo Hierárquico Analítico (AHP), metodologia proposta por Saaty (1980).

Macedo et al. (2018) realizaram o “Índice de Fragilidade Ambiental” (IFA), utilizando oito variáveis (precipitação, elevação, declividade, geologia, cobertura natural, densidade de estradas, distância de estradas e distância de centros urbanos), e concluíram que a aplicação do IFA pode ajudar a determinar quais corpos d’água ou reservatórios são mais propensos a sofrer com os efeitos da erosão e sedimentação.

2.2. Geoprocessamento

O estudo da fragilidade ambiental utiliza de mapas para que seja possível realizar a sua análise e o uso do geoprocessamento facilita o processo e a manipulação dos dados.

O geoprocessamento é a área do conhecimento que utiliza de técnicas matemáticas e ferramentas computacionais para coletar, armazenar, tratar, analisar e integrar as informações geográficas. Dentre essas técnicas, ou geotecnologias, estão os Sistemas de Posicionamento Global (GPS), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, a topografia, os bancos de dados geográficos, os SIGs, entre outros (CÂMARA; DAVIS, 2001; FITZ, 2008; XAVIER-DA-SILVA, 2016).

A anatomia do geoprocessamento é dividida em quatro partes, sendo elas os *softwares* (os programas), *hardware* (conjunto de equipamento, como o computador), os dados (temáticos, cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno e imagens), as pessoas (responsáveis pela manipulação dos dados) (LONGLEY et al., 2013; ZAIDAN, 2017).

2.2.1. Sistemas de Informações Geográficas

Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) integram diversas tecnologias, em diversos campos de estudo e finalidade, não sendo possível defini-los exatamente, mas de maneira geral, consiste num conjunto de ferramentas com as quais é possível adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações, sejam elas espaciais ou não, podendo essas técnicas serem realizadas manualmente ou com o auxílio de computadores (ARANOFF, 1989; CÂMARA; MONTEIRO 2001). É importante salientar que com o avanço da informática o auxílio não é exclusivamente de computadores.

Os SIGs também são definidos como a junção da coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais para determinado objetivo, onde o real é transformado em informações geográficas digitais, em formato vetorial ou matricial (BURROUGH; McDONNEL, 1998; FITZ, 2008).

Os SIGs possuem como característica principal a integração de variados dados em uma única base de dados, com propósito de gerar mapeamentos derivados. Um exemplo é a sobreposição de dados espaciais ou mapas, procedimento realizado para a geração da fragilidade ambiental (CÂMARA, 1993; ASSAD; SANO, 1993; FRUET, 2016).

Na análise espacial de ambiente, entre as vantagens da utilização do SIG esta a facilidade da tomada de decisão com uma visão mais técnica (HASENACK, 1995). Outra vantagem é a versatilidade, sendo possível direcionar suas aplicações para as mais diversas finalidades e áreas, além de tornar o SIG multidisciplinar, podendo ser utilizado para realizar análises econômicas, sociais ou de fenômenos naturais, e, também, análises com grande quantidade de dados (CÂMARA, et al., 2004; SILVA et al., 2016).

2.3. Importância dos Modelos de Predição de Cenário Futuro

Mapas preditivos possuem o objetivo de apresentar esboço futuro do arranjo da distribuição espacial a partir da atual e antiga dinâmica espacial e se mostram como importantes ferramentas de gestão. Ao possuir um cenário futuro é possível analisar o resultado e planejar caminhos alternativos ou caminhos que os distancie do suposto futuro. Porém, esses cenários futuros não devem ser considerados o produto final de um processo, mas uma ferramenta para

guiar e incentivar em futuras tomadas de decisões, uma vez que está sendo tratado de hipóteses e não de certezas (DALMAS, 2013).

A simulação de cenários futuros para o uso do solo e cobertura vegetal se tornou uma técnica importante e bastante utilizada para auxiliar no planejamento de gestão e auxiliando no conhecimento dos processos de mudança. Mas sendo importante lembrar que a mudança do uso do solo e cobertura vegetal é dinâmica, não linear e complexa, além de contar com intervenções políticas, econômicas e/ou culturais, ou seja, não é simples de ser prevista e descrita, em especial em bacias hidrográficas (SALMONA, 2013; RICOBOM; CANEPARO, 2014).

2.3.1. Cadeia de Markov

Os modelos baseados na Cadeia de Markov são amplamente utilizados para a análise da distribuição e dinâmica espacial, especialmente na área ambiental (RIBAS, 2015). O processo de Markov é um processo estocástico onde o futuro depende inteiramente do presente, ou seja, o estado passado não é levado em consideração, uma vez que é assumido que a informação do passado está concentrada na situação presente (ASSAF, 2016; GOIS; et al., 2016). Assim, o modelo se mostra simples e intuitivo, sendo utilizado, principalmente, em casos onde há indisponibilidade de dados, uma vez que não é preciso séries temporais longas (BRACCHETTI et al., 2012; RIBAS et al., 2016).

As principais vantagens das Cadeias de Markov são que possuem certa simplicidade operacional e matemática, facilitando seu uso a dados provenientes do sensoriamento remoto e dos SIGs. Uma segunda vantagem é conseguir antecipar cenários futuros com poucos dados históricos. As desvantagens do modelo é a limitação na resposta espacial (dizer onde vai ocorrer a mudança) e na explicação do fenômeno (RUHOFF et al., 2010).

Vasconcelos, Higuchi e Oliveira (2009), através da Cadeias de Markov, projetaram a distribuição diamétrica em uma floresta tropical após uma exploração seletiva de madeira. Os autores concluíram que a utilização da Cadeia de Markov é uma ferramenta em potencial para ser utilizada e que as projeções, no geral, auxiliam no manejo das florestas tropicais e para determinar o ciclo de corte.

Ruhoff, Fantin-Cruz e Collischonn (2010) simularam o processo de desmatamento na Amazônia para 2004, através de dois modelos, o Cadeias de Markov e Redes Neurais Artificiais e os comparou com dados observados em campo. A simulação realizada pelas Cadeias de Markov apresentou uma menor variação comparada com a das Redes Neurais Artificiais, mas

para os autores ambos os modelos não se mostram eficientes para prever a dinâmica de desmatamento da floresta Amazônica. Essa ineficiência foi causada pelo processo de desmatamento não ter acontecido de forma estacionária (RUHOFF; FANTIN-CRUZ; COLLISCHONN, 2010).

Sales et al. (2016) utilizaram o modelo das Cadeias de Markov para gerar a predição de cenários futuros das alterações no uso da terra e cobertura vegetal para então analisar o impacto causado pelas transições entre o uso da terra e as culturas de cana-de-açúcar em uma Unidade de Conservação no interior de São Paulo e sua zona de amortecimento. Os autores concluíram que a utilização do modelo em questão se mostrou eficaz.

O modelo de Cadeia de Markov é amplamente usado por autores para gerar mapas preditivos do uso da terra e cobertura vegetal, além de Sales et al. (2015), pode-se citar Guidolini et al. (2013), que utilizaram a metodologia em um trecho de uma bacia hidrográfica; Ricobom e Caneparo (2014), que utilizaram a metodologia em um perímetro urbano; Santos (2014) que elaborou um modelo espacial para a simulação de cenários para Portugal Continental; e Silva e Caneparo (2017) que realizaram uma pesquisa a fim de ver as mudanças que a instalação de um complexo portuário causaria no uso do solo e cobertura vegetal.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral estudar a evolução da fragilidade ambiental dos anos de 2010 e 2019, para subsidiar a geração de cenários futuros por meio da Cadeia de Markov para a Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabaçu.

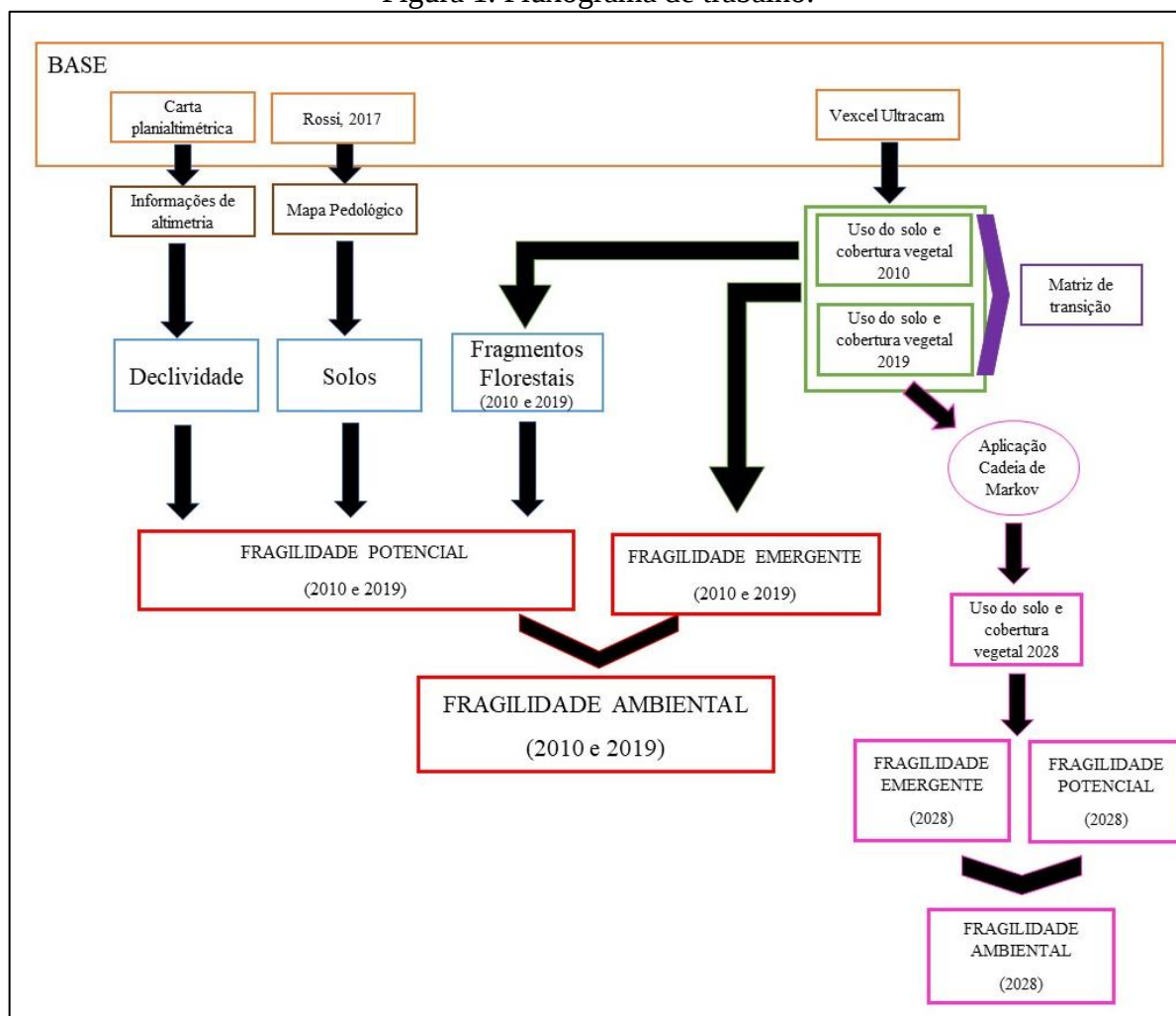
3.2. Objetivos específicos

- Elaborar uma base cartográfica da área de estudo contendo a declividade, pedologia, e uso do solo e cobertura vegetal para os anos de 2010 e 2019;
- Produzir o mapa da Fragilidade Ambiental para os anos de 2010 e 2019;
- Propor um cenário futuro da Fragilidade Ambiental para 2028.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir é apresentado o fluxograma de trabalho desenvolvido (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma de trabalho.



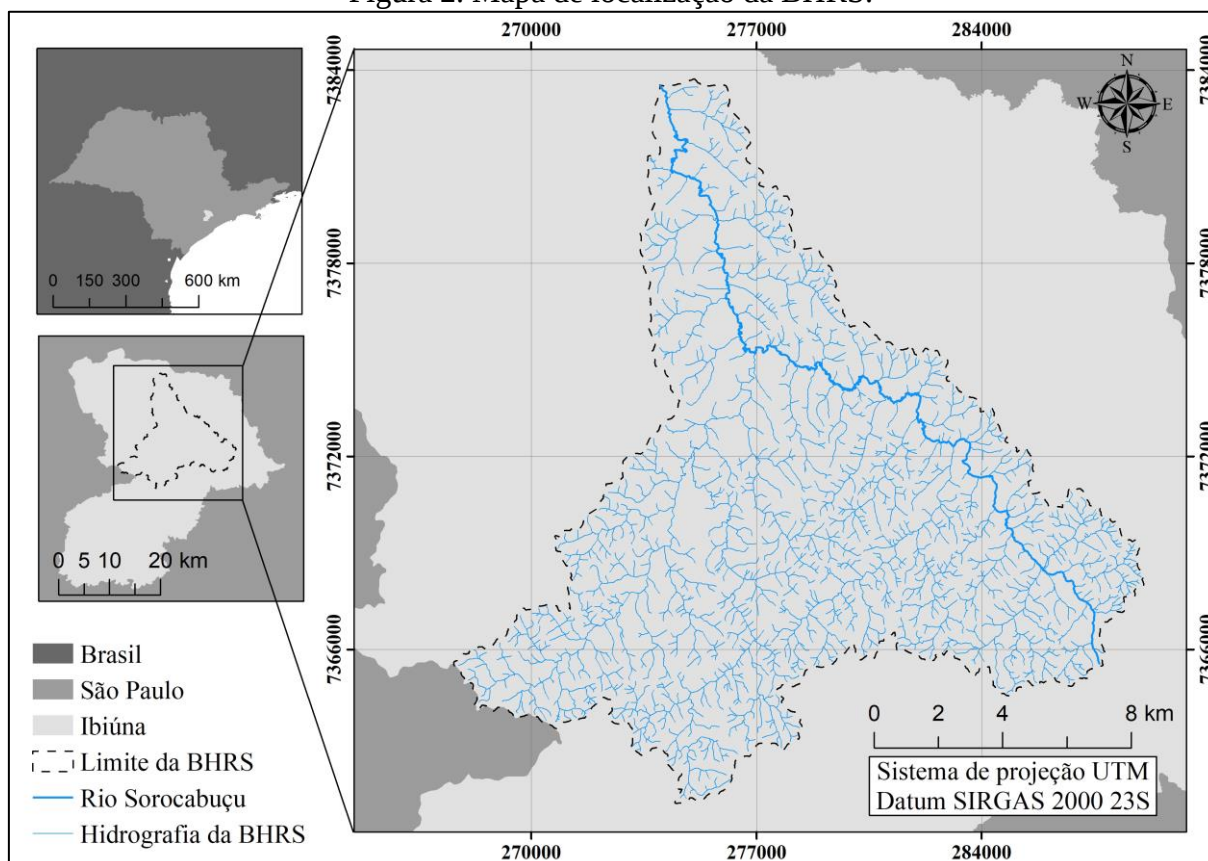
Fonte: Autoria própria.

4.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabaçu (BHRS) (Figura 2), pertencente à região do Alto Rio Sorocaba, integrada à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos rios Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI-10), e localizada à montante da represa de Itupararanga, sendo que esta possui elevada importância econômica para a região. O Rio Sorocabaçu percorre o município de Ibiúna – SP, com área de 1.058 km² e uma população de 71.228 habitantes, sendo destes 46.278 (65%) residentes rurais; possui 0,71 de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), e possui sua

economia baseada em cultivos agrícolas, produção hortifrutigranjeiros, indústria de beneficiamento de madeira e fabricação de carvão vegetal (IBGE, 2010; 2015).

Figura 2. Mapa de localização da BHRS.



A BHRS possui 202,68 km², ocupando aproximadamente 19,15% de Ibiúna. Apresenta grande importância ambiental, uma vez que está inserida na Área de Preservação Ambiental de Itupararanga (APA Itupararanga). O Rio Sorocabu juntamente com o Rio Sorocamirim, formam o Rio Sorocaba, o principal corpo hídrico formador da Represa de Itupararanga, sendo esta responsável pelo abastecimento de água e geração de energia elétrica para cidades da região (SALES, 2015; IBGE, 2017).

Com relação ao clima, a partir da classificação proposta por Köppen (1948), Dubreuil (2017) reclassificou a região em que a BHRS está inserida como Cwa de 50 a 80%, caracterizada por pertencer ao clima subtropical de inverno seco, com temperaturas inferiores a 18°C e 47,5 mm de precipitação; e verão quente, com temperaturas superiores a 22°C com 196 mm de precipitação. O tipo climático principal e as características para a temperatura continuaram os mesmos, a mudança ocorreu na distribuição sazonal, onde o “f” mudou para

“w”, caracterizado por chuva de verão (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; CEPAGRI, 2019; CIIAGRO, 2019; DUBREUIL, 2017).

O bioma da região onde a BHRS está inserida é da Mata Atlântica, com remanescentes de Floresta Ombrófila Densa, caracterizada pela alta presença de fanerófitos, lianas e epífitas (IBGE, 2019). A BHRS possui predominantemente Latossolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Melânico (EMBRAPA, 2006; ROSSI, 2017).

4.2. Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais para o desenvolvimento do estudo:

- Cartas topográficas do município de Ibiúna (escala 1:10.000), disponibilizada pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1979);
- Ortoimagens do Sensor Vexcel Ultracam de junho de 2010 (resolução espacial 0,45 metros), disponibilizadas pelo IGC;
- *Software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2016);
- *Software* Terrset 18.10 (CLARK LABS, 2015).

4.3. Procedimentos metodológicos

4.3.1. Elaboração da Base Cartográfica

Para a construção da base cartográfica, foi necessária a vetorização no *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2016) dos dados planimétricos (malha viária e hidrografia) e altimétricos (curvas de nível e pontos cotados) das cartas topográficas (escala de 1:10.000) do município de Ibiúna, disponibilizadas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). Foram utilizadas 16 cartas topográficas, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3. Articulação das cartas topográficas utilizadas.

SF-23-Y-C-V-2-SO-A 094/096 A		SF-23-Y-C-V-2-SO-B 094/097 B	
SF-23-Y-C-V-2-SO-C 095/096 C		SF-23-Y-C-V-2-SO-D 095/097 D	
SF-23-Y-C-V-2-SO-E 096/096 E		SF-23-Y-C-V-2-SO-F 096/097 F	SF-23-Y-C-V-2-SE-E 096/098 G
SF-23-Y-C-V-3-NE-B 097/095 H	SF-23-Y-C-V-4-NO-A 097/096 I	SF-23-Y-C-V-4-NO-B 097/097 J	SF-23-Y-C-V-4-NE-A 097/098 K
SF-23-Y-C-V-3-NE-D 098/095 L	SF-23-Y-C-V-4-NO-C 098/096 M	SF-23-Y-C-V-4-NO-D 098/097 N	SF-23-Y-C-V-4-NE-C 098/098 O
SF-23-Y-C-V-4-NO-E 099/096 P			

Fonte: Autoria própria.

Legenda: A- Bairro Cachoeira; B- Bairro Votorantim; C- Bairro do Capim Azedo; D- Bairro do Lajeado; E- Bairro do Cupim; F- Bairro Sorocabuçu; G- Bairro do Pedroso; H- Bairro do Lajeado; I- Bairro do Piaí; J- Bairro do Boava; K- Bairro do Verava; L- Bairro do Itaguapeva; M- Bairro do Murundu; N- Sítio Paiol Velho; O- Bairro dos Grilos; P- Ribeirão das Vargens.

Os dados vetorizados foram georreferenciados para SIRGAS 2000, o novo sistema de referência geodésico utilizado para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para as atividades cartográficas no Brasil.

4.3.2. Elaboração do Mapa de Declividade

Para o mapeamento da declividade foi necessário, primeiramente, obter o Modelo Digital de Terreno (MDT). Para a geração do MDT foram usadas as curvas de nível e pontos cotados, obtidos na vetorização da base cartográfica. Sua construção foi realizada pela técnica de *Triangulated Irregular Network (TIN)*, utilizando a ferramenta “*Create TIN*”, disponível no *3D Analyst* presente no ArcMap 10.6 (ESRI, 2016).

A partir do MDT foi gerada a declividade da BHRS. O modelo foi processado pela ferramenta *Slope*, encontrada no *Spatial Analyst Tools*, com *output* em “*percent rise*” para a

representação em porcentagem. Seguindo a classificação dos tipos de relevo definidos pela Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (EMBRAPA, 2006), o relevo foi separado em seis classes, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de relevo

Classes de relevo	Intervalo de declividade (%)
Plano	0 - 3%
Suavemente ondulado	> 3 - 8%
Ondulado	> 8 - 20%
Fortemente ondulado	> 20 - 45%
Montanhoso	> 45 - 75%
Escarpado	> 75%

Fonte: EMBRAPA (2006).

4.3.3. Pedologia

A caracterização pedológica da área foi realizada a partir da sobreposição e posterior recorte do limite da BHRS no mapa pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017). O mapa pedológico foi obtido no Instituto Florestal (IF), em escala 1:250.000 (ROSSI, 2017).

4.3.4. Uso do solo e cobertura vegetal

O mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal para a área de estudo, foi realizado no limite da BHRS utilizando as ortoimagens do sensor Vexcel Ultracam (resolução espacial 0,45 metros) de junho de 2010, disponibilizada pelo IGC, com composição verdadeira.

O procedimento utilizado para o mapeamento, realizado no *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2016) foi a interpretação visual da imagem, na escala 1:5.000. A interpretação visual é um método que exige habilidade para identificar, determinar e interpretar os objetos presentes nas imagens. A identificação e determinação, para posterior interpretação das feições é feito a partir de critérios, como a forma, o tamanho, a localização, a tonalidade, a textura (lisa, rugosa, homogênea ou heterogênea) e a estrutura, podendo os critérios serem utilizados isoladamente ou em associação (PANIZZA; FONSECA, 2011).

As classes utilizadas para a classificação do uso do solo e cobertura vegetal foi definida, com adaptações, a partir do Manual Técnico de Uso da Terra e do Manual Técnico da Vegetação Brasileira. As classes definidas foram: matas, reflorestamento, lâmina d'água, cultura

temporária, cultura permanente, pastagem, campo, mineração e áreas urbanizadas (IBGE, 2012; IBGE, 2013).

O mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2010, foi atualizado para o ano de 2019 a partir do Google Earth Pro 7.3 (GOOGLE LLC, 2019). A utilização do *software* em questão foi selecionada por permitir a observação de imagens atuais da área de trabalho.

A partir do uso do solo e cobertura vegetal, foram extraídos os fragmentos florestais e categorizados de muito pequenos a muito grandes, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Classe e tamanho dos fragmentos florestais

Classe do Fragmento	Tamanho do Fragmento
Muito pequeno	< 5 ha
Pequeno	> 5 ha – 10 ha
Médio	> 10 ha – 50 ha
Grande	> 50 ha – 100 ha
Muito grande	> 100 ha

Fonte: Autoria própria.

4.3.5. Transição da mudança de uso do solo e cobertura vegetal entre 2010 e 2019

Após o mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal para 2010 e 2019, foi construído uma matriz de transição entre os anos 2010-2019. Cada célula da matriz informa a área que sofreu transição entre os dois períodos, onde o estado de origem (2010) está indicado pela linha e o estado seguinte (2019) está indicado pela coluna correspondente. As classes que permaneceram no mesmo estado, ou seja, que não sofreram alterações de uso do solo e cobertura vegetal, estão indicados na diagonal (células preenchidas de verde). A matriz construída é similar ao Quadro 1.

Os valores diferentes de zero indicam a transição entre as classes de 2010 (linha) para 2019 (coluna), as células com o valor zero indica quando não houve mudança dentre as classes específicas entre os períodos (CETESB, 2011; SANTOS, 2014).

A matriz de transição foi construída através da ferramenta *Tabulate Area* (*Spatial Analyst > Zonal > Tabulate Area*), disponível no *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2016).

Quadro 1. Modelo da matriz de transição para as categorias de uso do solo e cobertura vegetal

Área (km ²)		Uso da terra (ano posterior)								Total (ano anterior)	Transição
		M	R	C	CT	P	AU	CA	CP	MI	
Uso da terra (ano anterior)	M										
	R										
	C										
	CT										
	P										
	AU										
	CA										
	CP										
	MI										
	Total (ano posterior)										

Fonte: Adaptação de CETESB (2011) e SOUSA (2018).

Legenda: M: matas; R: reflorestamento; C: campo; CT: cultura temporária; P: pastagem; AU: Área Urbanizada; CA: Corpo d'água; CP: cultura permanente; MI: mineração. Células preenchidas de verde: permanência de classe no período analisado; Células sem preenchimento: alterações entre os períodos; Células preenchidas de azul claro: total de áreas que tiveram transição por classe; Células preenchidas de azul escuro: total de área que sofreram transição; Célula preenchida em amarelo: total da área da BHRS. Linhas representam as classes de uso do solo e cobertura vegetal do ano anterior e as colunas representam as classes de uso do solo e cobertura vegetal do ano posterior.

4.3.6. Mapeamento da Fragilidade Ambiental

Elaborado a partir das metodologias de Ross (1994; 2012) com adaptações, o Mapa da Fragilidade Ambiental foi baseada na Fragilidade Potencial e na Fragilidade Emergente. Para a determinação da Fragilidade Potencial (fragilidade natural) foi usado os mapas temáticos de declividade, solo e fragmentos florestais, e para a determinação da Fragilidade Emergente (grau de modificação) foi utilizado o mapa temático de uso do solo e cobertura vegetal.

4.3.6.1. Mapeamento da Fragilidade Potencial

Elaborado a partir dos mapas da declividade, solo e cobertura vegetal, o Mapa da Fragilidade Potencial, sendo organizados em cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

Para cada variável foram atribuídos valores de 1 a 5 a partir de suas características (Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5), sendo 1 a categoria mais baixa e 5, a mais alta.

A declividade foi reclassificada (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*, presente no ArcMap 10.6) em cinco classes, a partir da declividade proposta por Ross (1994), levando em consideração o grau de fragilidade e seu respectivo peso. A classificação das cinco classes e a respectiva declividade, em porcentagem, é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Grau de fragilidade por classe de declividade

Grau de fragilidade	Declividade
1 – Muito Baixo	até 8%
2 – Baixo	> 8 – 20%
3 – Médio	> 20 – 45%
4 – Alto	> 45 – 75%
5 – Muito Alto	> 75%

Fonte: Adaptado de ROSS (2012).

A pedologia, após conversão de *shapefile* para *raster*, foi classificada a partir da adaptação das duas metodologias de Ross (1994, 2012) a fim de abranger todos os tipos de solo presente na BHRS. Para a determinação do grau de fragilidade foi considerado o grau de erodibilidade que cada solo apresenta a partir do escoamento superficial e concentração das águas pluviais. O grau de fragilidade por tipo de solo é apresentado na Tabela 4, as classes com solos presentes na BHRS estão preenchidas em cinza.

Tabela 4. Grau de fragilidade por tipo de solo

Grau de Fragilidade	Tipo de Solo
1 – Muito Baixo	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo textura Argilosa
2 – Baixo	Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média/argilosa
3 – Médio	Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa
4 – Alto	Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/arenosa, Cambissolos
5 – Muito Alto	Podzolizados com cascalho, Litólicos, Areias Quartzosas, Gleissolos

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

A Fragilidade Potencial da cobertura vegetal foi mapeada a partir dos fragmentos florestais. A variável foi acrescentadas para melhor representar a resistência ambiental (capacidade de suportar as variações ao ser submetido à alterações) do sistema.

Fragmentos menores apresentam maior fragilidade em relação aos fragmentos maiores, ou seja, apresentam-se menos resistentes, necessitando de maior proteção (TURNER; CORLETT, 1996; SOUZA et al., 2013). O grau de fragilidade por tamanho do fragmento florestal é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Grau de fragilidade por tamanho de fragmento florestal

Grau de fragilidade	Tamanho do fragmento
0 - Nulo	Local sem cobertura vegetal
1 – Muito Baixo	Fragmentos maiores que 100 ha
2 – Baixo	Fragmento maiores que 50 ha e 100 ha
3 – Médio	Fragmento maiores que 10 ha a 50 ha
4 – Alto	Fragmentos maiores que 5 ha a 10 ha
5 – Muito Alto	Fragmentos até 5 ha

Fonte: Autoria própria.

Para a obtenção do Mapa da Fragilidade Potencial foi realizada a sobreposição através da ferramenta *Raster Calculator* (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator*, presente no ArcMap 10.6). Foi atribuída a todas as variáveis os mesmos pesos de importância.

Os agrupamentos possíveis para cada grau de Fragilidade Potencial são apresentados no Apêndice A.

4.3.6.2. Mapeamento da Fragilidade Emergente

Diferentemente de Ross (1994; 2012) que para a Fragilidade Emergente considera o grau de proteção sobre o uso da terra, nesta pesquisa para melhor representar a resistência do ambiente, os Mapas de Uso de Solo e Cobertura Vegetal dos anos de 2010 e 2019 foram reclassificados quanto à hemerobia, ou seja, em relação ao grau de modificação que o ambiente sofreu, sendo organizados em cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (TROPPMAIR, 1989; CHAVES; SANTOS, 2009).

Para cada variável foram atribuídos valores de 1 a 5 a partir de suas características, sendo 1 a categoria com menor grau de modificação (ambiente mais preservado, com alta capacidade de auto-regulação, permeabilidade da superfície), e 5 a categoria com maior grau de modificação (ambiente menos preservado, com baixa capacidade de auto-regulação, impermeabilização da superfície).

Os mapas de uso da terra foram convertidos pra raster e reclassificados em cinco classes, levando em consideração o grau de modificação e seu respectivo peso. A classificação das cinco classes é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Grau de modificação por classe de uso do solo e cobertura vegetal

Grau de modificação	Uso do solo e cobertura vegetal
1 – Muito Baixo	Mata e corpo d'água;
2 – Baixo	Reflorestamento;
3 – Médio	Pastagem e cultura permanente;
4 – Alto	Cultura temporária e campo;
5 – Muito Alto	Área urbana e mineração.

Fonte: Adaptado de CHAVES; SANTOS (2009) e BELEM; NUCCI (2011).

4.3.6.3. Mapeamento da Fragilidade Ambiental

A Fragilidade Ambiental é apresentada em cinco categorias, variando de 1 a 5, onde são representados a capacidade do sistema em suportar intervenções antrópicas (PADILHA, TREVISAN, CRUZ; 2014). As classes são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Grau de fragilidade ambiental

Categoria	Grau de fragilidade
1	Muito Baixo
2	Baixo
3	Médio
4	Alto
5	Muito Alto

Fonte: ROSS (1994).

A confecção dos mapas da Fragilidade Ambiental foi realizada através da sobreposição, com pesos iguais, dos mapas da Fragilidade Potencial de 2010 e 2019 e os mapas de Fragilidade Emergente de 2010 e 2019.

Os agrupamentos possíveis para cada grau de Fragilidade Ambiental são apresentados no Apêndice B.

Por fim, foram categorizados os graus de fragilidade por sub-bacia para o ano de 2019, a fim de resumir e facilitar a leitura do resultado em uma possível utilização por gestores ambientais.

4.3.7. Modelo de Predição para 2028

Mudanças no uso da terra, simuladas a partir de Cadeias de Markov, são baseados em teorias de probabilidade, sendo este um processo considerado estocástico, podendo ser calculado pela Equação 1 (RUHOFF; FANTIN-CRUZ; COLLINCHONN, 2010). Onde o cenário futuro depende apenas do estado atual do sistema, e não dos estados anteriores (GUAN et al., 2008; SANTOS, 2014).

$$\Pi(t + 1) = p_n \Pi t \quad (1)$$

Sendo Πt correspondente ao estado do sistema no tempo (t), $\Pi(t+1)$ ao estado do sistema após o tempo (t), e p_n são os estados possíveis de acontecer, que serão representados em matrizes de possibilidade de transição. Essa matriz de transição representa a possibilidade do estado permanecer o mesmo, ou mudar no instante de tempo.

A partir do módulo *Markov* do TerrSet (CLARK LABS, 2015), foram analisados um par de mapas de uso do solo e cobertura vegetal (de 2010 e 2019) a fim de gerar a matriz de probabilidade de transição para 2028. A matriz de probabilidade de transição mostra a mudança esperada para a cada classe e entre as classes do uso do solo e cobertura vegetal.

Através do módulo *CA_Markov*, também do TerrSet (CLARK LABS, 2015), foi construído a projeção do cenário futuro para 2028. O módulo em questão utiliza a combinação das técnicas de Autômatos Celulares, Cadeia de Markov, Multicritério e Alocação Multi-objetiva do Terreno (MOLA) para a predição da possível distribuição espacial das transições calculadas pelo módulo *Markov*.

A partir do cenário futuro do uso do solo e cobertura vegetal foram gerados a Fragilidade Potencial e Emergente de 2028 e então, a Fragilidade Ambiental de 2028.

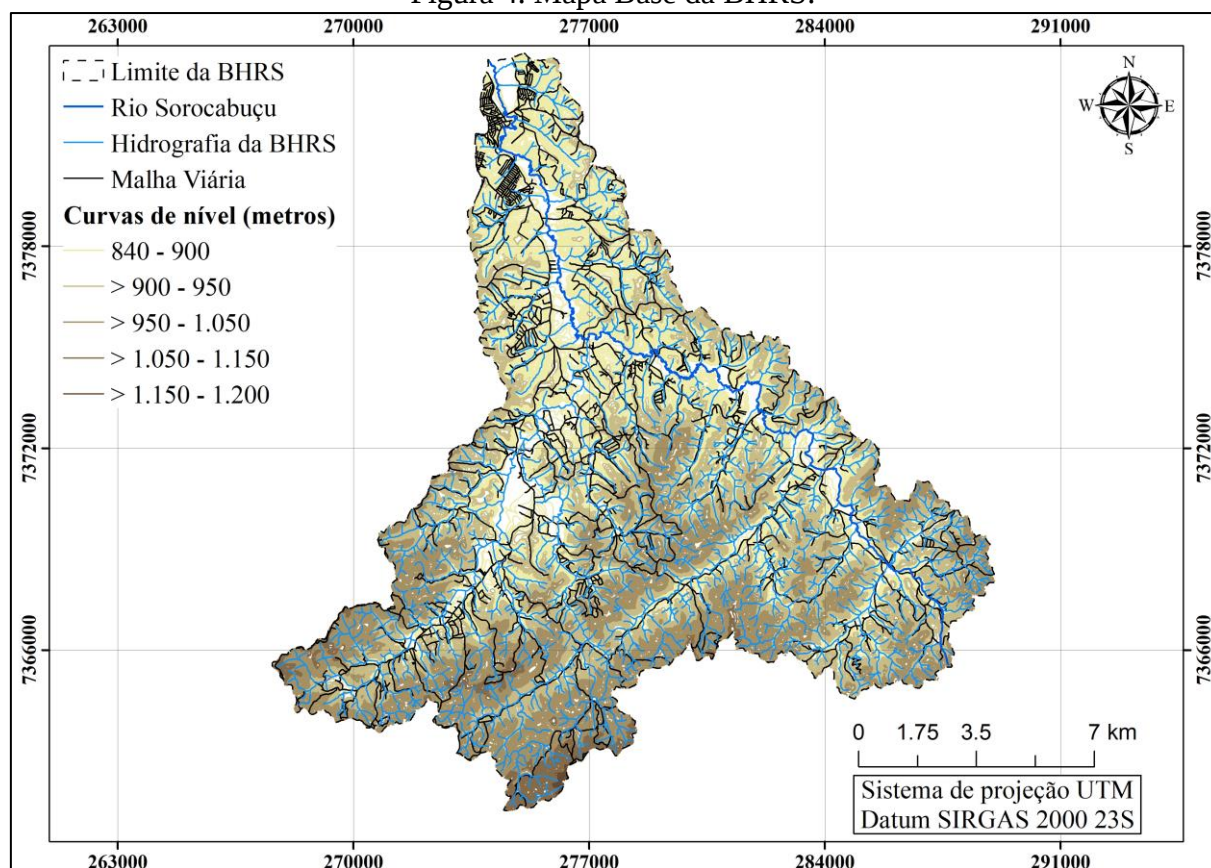
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Base cartográfica

O Mapa Base da BHRS com as informações planialtimétricas estão apresentados na Figura 4.

A BHRS possui um total de 202,68 km², 570,54 km de malha viária e 719,26 km de rede de drenagem, sendo 38,55 km do Rio Sorocabaçu. As curvas de nível variam de 840 m a 1.200 m de altitude.

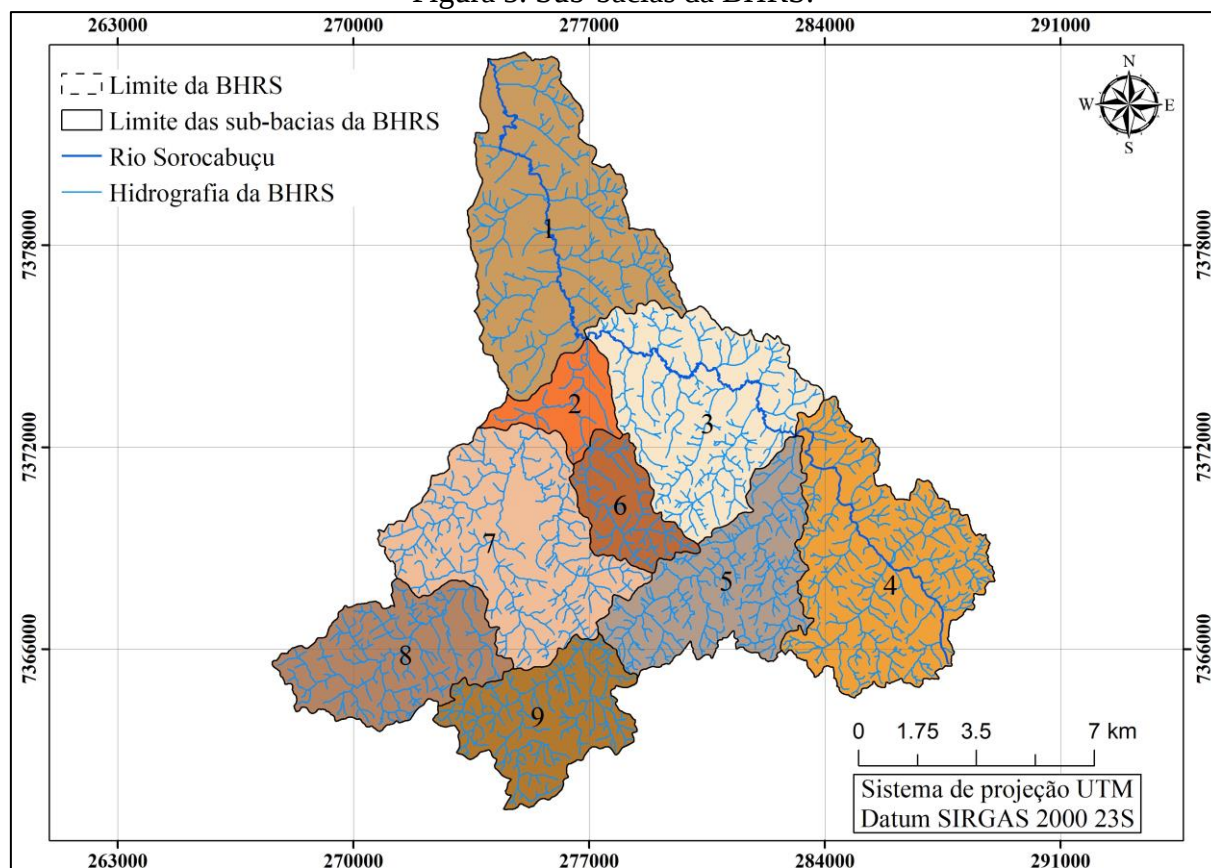
Figura 4. Mapa Base da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

A partir das curvas de nível e da hidrografia foi feita a divisão das sub-bacias. São 9 sub-bacias, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5. Sub-bacias da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

O quantitativo das áreas de cada sub-bacia é mostrado na Tabela 8. Onde é possível ver que a sub-bacia 1 a maior e a sub-bacia 2 a menor (19,46% e 3,25%, respectivamente).

Tabela 8. Quantitativo das sub-bacias da BHRS

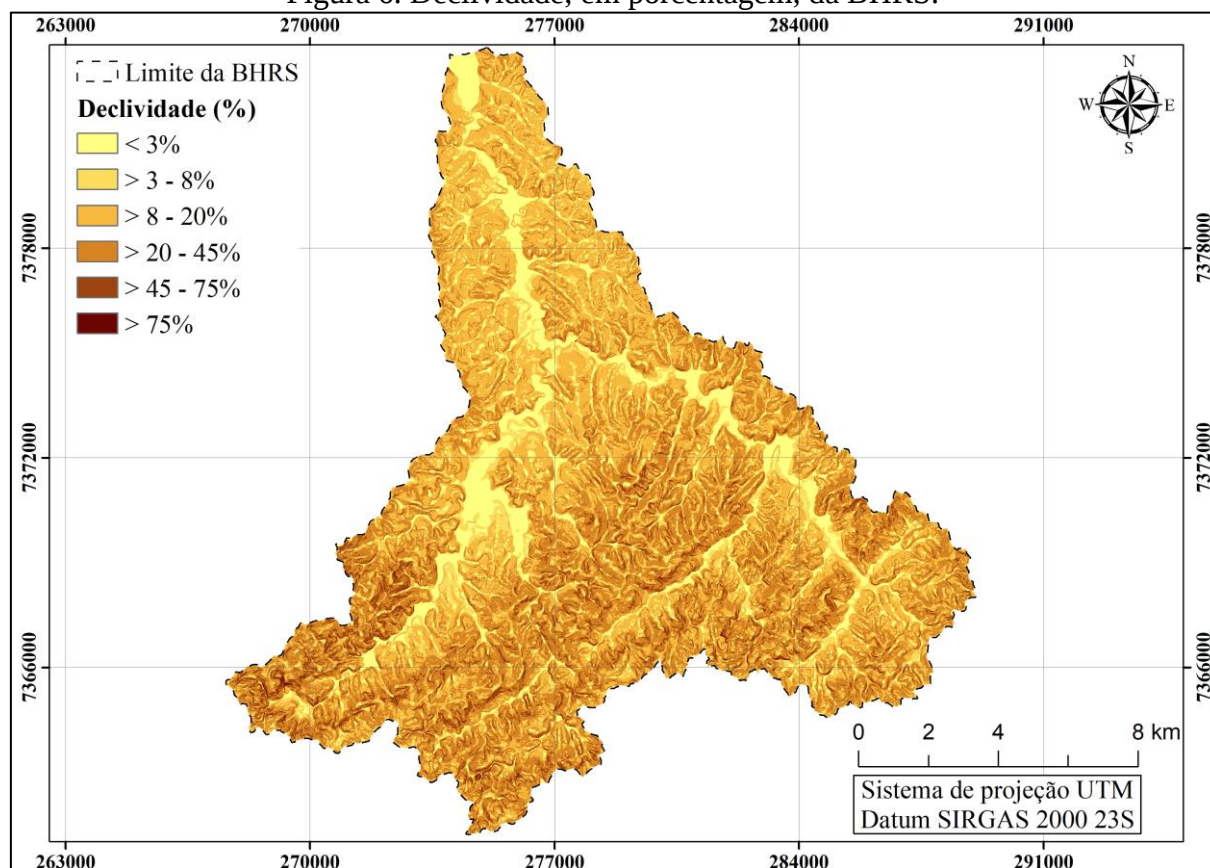
Sub-bacias	Área (km ²)	Área (%)
1	37,41	18,46
2	6,59	3,25
3	29,04	14,33
4	32,71	16,14
5	21,62	10,67
6	8,40	4,15
7	30,98	15,29
8	19,05	9,40
9	16,88	8,33

Fonte: Autoria própria.

5.2. Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade é mostrado na Figura 6. As declividades acima de 20 a 45% (relevo fortemente ondulado) são predominantes na BHRS, e o intervalo com menor representatividade são os que apresentam declividades acima de 75% (relevo escarpado). As áreas com relevo plano indicam, na maioria das vezes, a presença de corpos d'água. É possível observar que na parte norte da BHRS, em sua maioria são áreas com relevo plano a ondulado e que as áreas mais a sul são mais declivosas.

Figura 6. Declividade, em porcentagem, da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

As áreas com declividade acima de 20% estão predominantemente na parte sul da BHRS. Sendo essas áreas que apresentam maior risco de erosão, uma vez que a alta inclinação aumenta a velocidade das massas de água que escoam superficialmente (MILANEZI; PEREIRA, 2016). Na BHRS, as áreas mais declivosas, acima de 75%, estão presentes em áreas mais isoladas.

A seguir é mostrado na Tabela 9 os quantitativos por quilômetros quadrados e porcentagem das declividades ocorrentes na área de estudo.

Tabela 9. Quantitativo das classes de declividade da BHRS

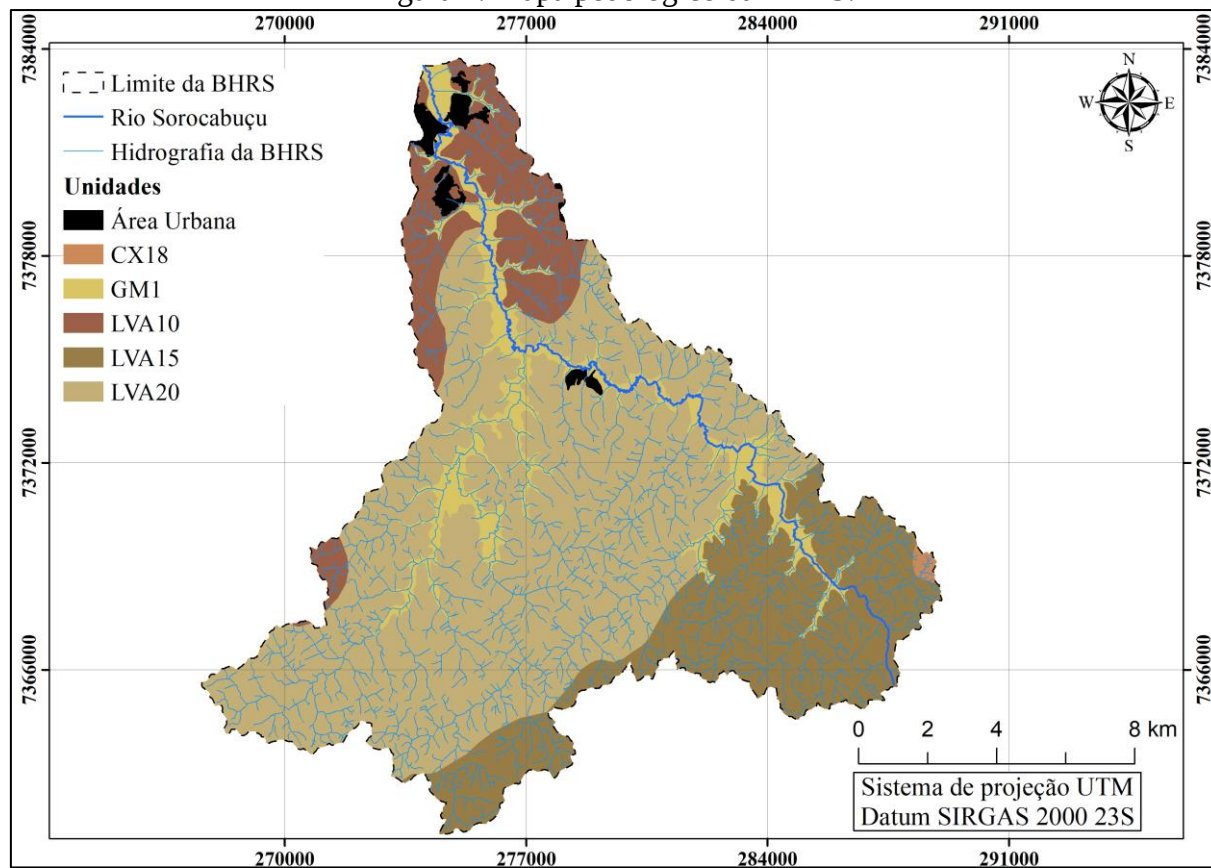
Declividade	Área (km ²)	Área (%)
0 - 3%	23,43	11,61
> 3 - 8%	17,05	8,45
> 8 - 20%	74,22	36,78
> 20 - 45%	75,14	37,23
> 45 - 75%	11,56	5,73
> 75%	0,40	0,20

Fonte: Autoria própria.

5.3. Mapa pedológico

Os solos encontrados na BHRS são os da ordem tipo Latossolos (subordem Latossolo Vermelho-Amarelo) ocupando a maioria da área de estudo; os Gleissolos (subordem Gleissolo Melânico), estando estes, presentes no curso do rio principal e os Cambissolos (subordem Cambissolo Háplico), presentes em pequena quantidade na parte sudeste da BHRS. O Mapa Pedológico é apresentado na Figura 7.

Figura 7. Mapa pedológico da BHRS.



Fonte: ROSSI (2017).

Os quantitativos do Mapa Pedológico é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Quantitativo do Mapa Pedológico da BHRS, Ibiúna, SP

Solo	Unidade	Área (km ²)	Área (%)	
Área Urbana	-	2,85	1,41	1,41
Cambissolo Háplico	CX18	0,51	0,25	0,25
Gleissolo Melânico	GM1	20,94	10,33	10,33
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVA10	20,71	10,22	88,01
	LVA15	44,14	21,78	
	LVA20	113,52	56,01	

Fonte: ROSSI, 2017. Organização da autora.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são solos associados a áreas com declividade até 20%, e a ambientes bem drenados e muito profundos, porosos a muito porosos. Geralmente, são solos utilizados em atividades agropecuárias.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo aparecem em 3 unidades, sendo os (a) LVA20, com maior representatividade (55,88%), com textura argilosa; os (b) LVA15 com 21,57%, sendo eles uma associação Latossolo Vermelho-Amarelo com Latossolo Vermelho e Cambissolo Háplico com textura muito argilosa; (c) o LVA10 (associação de Latossolo Vermelho-Amarelo/Vermelho com textura média ou argilosa e Cambissolo Háplico com textura média ou argilosa) é o que está menos presente na área (10,29%) (EMBRAPA, 2006; ROSSI, 2017).

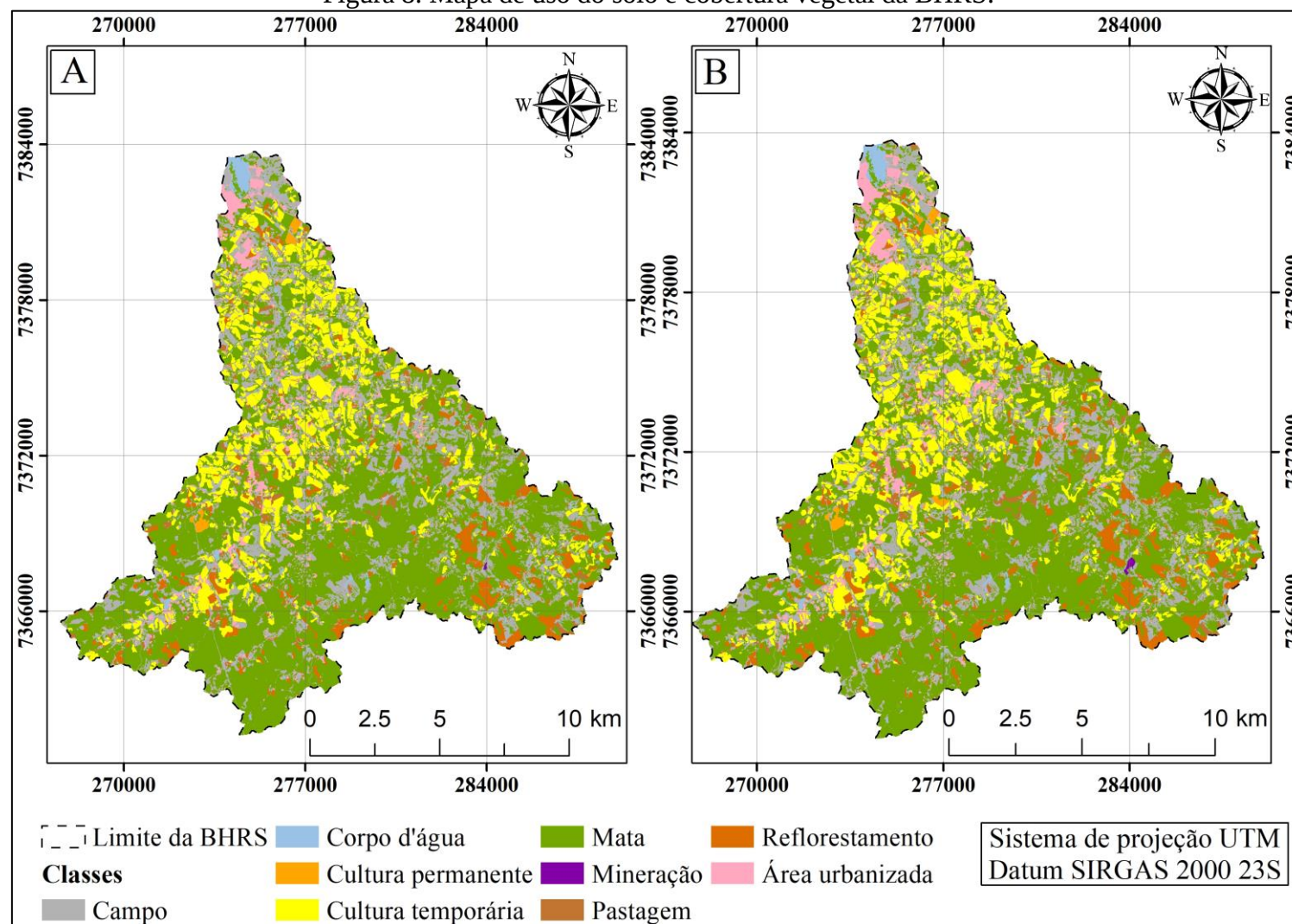
Os Gleissolos estão presentes principalmente em planícies ou várzeas inundáveis, como é possível observar na Figura 7. Na BHRS, eles estão presentes na subordem de Gleissolo Melânico e apresentam o mesmo quantitativo que os LVA10 (10,29%), e estão presentes em áreas de planícies de grandes rios. Os solos GM1 são associações entre o Gleissolo Melânico e Cambissolo Háplico (IAC, 2015). Os GM1 são solos distróficos, pouco profundos, com textura média e argilosa (EMBRAPA, 2006; ROSSI, 2017).

O solo com menor representatividade na BHRS são os CX18 (Cambissolo Háplico), caracterizados por sempre apresentarem textura mais fina à média. Geralmente possuem pequena profundidade e alto teor de minerais primários – são esses os vindos das rochas – além da presença de fragmentos de rochas (IAC, 2015). O CX está na parte sudeste da BHRS.

5.4. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal

Os mapas de uso do solo e cobertura vegetal da BHRS foram classificados em nove categorias, sendo elas: área urbanizada, mineração, culturas temporárias, culturas permanentes, pastagem, campo, reflorestamento, mata e corpo d'água. Os mapas para o ano de 2010 e 2019 são apresentados na Figura 8A – 8B.

Figura 8. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal de 2010. B - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal de 2019.

Os quantitativos de cada classe, para os dois anos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Quantitativo das classes de uso do solo e cobertura vegetal da BHRS

Classes	2010		2019	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Área urbanizada	7,57	3,73	9,12	4,50
Campo	40,85	20,15	38,54	19,02
Corpo d'água	3,19	1,57	3,21	1,58
Cultura permanente	0,78	0,38	0,96	0,48
Cultura temporária	28,56	14,09	29,85	14,73
Mata	106,69	52,64	104,44	51,53
Mineração	0,03	0,01	0,12	0,06
Pastagem	3,54	1,75	3,98	1,96
Reflorestamento	11,47	5,66	12,47	6,15

Fonte: Autoria própria.

As matas foi a classe com maior representação nos dois anos, apresentando 106,69 km² em 2010 e 104,44 km² em 2019. Entre os dois anos houve a perda de 2,25 km² (1,11%) de área. Sua maior distribuição está na parte sudoeste da BHRS.

A área urbanizada teve aumento de 1,55 km² entre os dois anos (7,57 km² e 9,12 km² para 2010 e 2019, respectivamente). A parte de área urbana presente no extremo norte/noroeste, faz parte do centro urbano e mais a sul, são em sua maioria as edificações rurais.

Os campos foram a segunda área com maior representatividade na BHRS, apresentando 40,85 km² e 38,54 km² para 2010 e 2019, respectivamente. Foram consideradas áreas degradadas, campos sujos, estradas de terra e caminhos abertos que contribuem para a fragmentação da paisagem.

Culturas temporárias são marcadas pelo cultivo de plantas que possuam ciclo de vida de curta ou média duração, sendo que com o fim da produção o terreno está pronto para novo plantio (IBGE, 2013). Na BHRS, elas estão situadas principalmente na parte central e norte da bacia, correspondendo à caracterização do município em que a área está inserida. Na BHRS a cultura temporária é marcada pelas hortíferas (AMORIM, 2018). Entre 2010 e 2019 houve um aumento de 1,29 km² (28,56 km² em 2010 e 29,85 km² em 2019).

As culturas permanentes são cultivos com ciclos longos (plantas perenes), onde não há a necessidade de realizar novos plantios após a colheita (IBGE, 2013). Na BHRS, esse tipo de cultivo é representado, principalmente, pelo cultivo de caqui, laranja, limão e café (AMORIM, 2018). Estando presente em 0,78 km² em 2010 e 0,96 km² em 2019, apresentando um aumento de 0,18 km².

As áreas de reflorestamento tiveram o aumento de 1 km² entre os dois anos (11,47 km² em 2010 e 12,47 km² em 2019).

A classe de corpo d'água são representadas por rios, lagoas, lagos, reservatórios, açudes e áreas sujeitas a inundações. Sua representatividade é de 3,19 km² em 2010 e de 3,21 km² em 2019.

As pastagens são áreas destinadas à atividade pastoril. Entre os dois anos houve o aumento de 0,44 km² (3,54 e 3,98 km² para 2010 e 2019, respectivamente).

A classe com menor representatividade na BHRS é a mineração, porém houve aumento de 0,9 km² na representatividade da classe, sendo 0,03 km² em 2010 e 0,12 km² em 2019. A área de mineração está presente na parte sudeste da bacia.

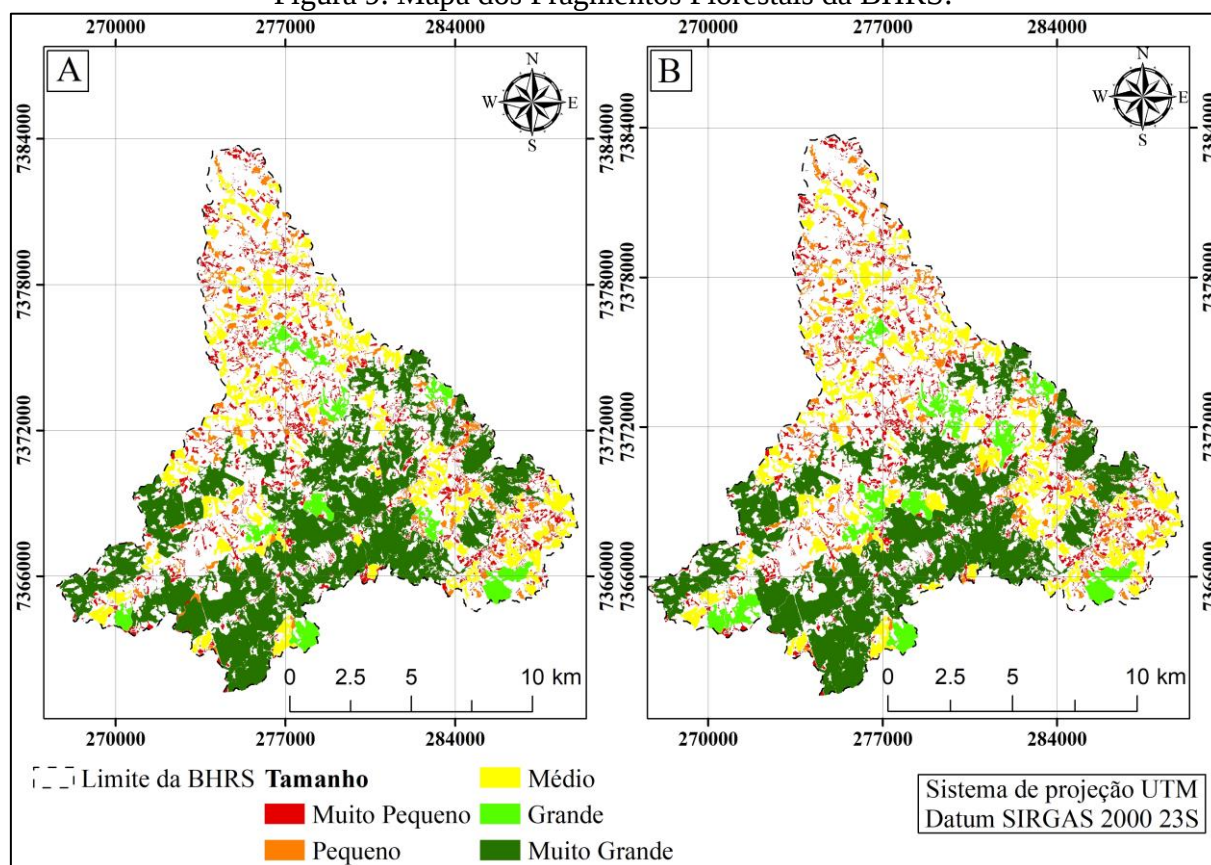
Foi possível observar para as duas datas que a BHRS apresenta, em sua maioria, a classe de matas (52,64% em 2010 e 51,53% em 2019), sendo essa, presente em maior porcentagem do que as áreas antrópicas (45,76% em 2010 e 46,89% em 2019), representadas pela área urbanizada, campo, cultura permanente e temporária, mineração, pastagem e reflorestamento.

A concentração de culturas temporárias na parte norte da BHRS é devida a baixa declividade do local, o que favorece a agricultura (CORSEUIL; CAMPOS, 2007; LEAL; TONELLO, 2016). Segundo Santos et al. (2016), o aumento da declividade prejudica as atividades antrópicas, principalmente agricultura e pastagem, pois as tornam mais caras e inviáveis, tornando-as presentes em maior concentração na parte com menor declividade, explicando também, a grande concentração das matas na parte com maior declividade da BHRS.

Os mapas de fragmentos florestais são apresentados na Figura 9A – 9B.

Os fragmentos florestais muito pequenos e pequenos estão presentes principalmente na parte norte da BHRS devido a alta antropização da área (impulsionada pela baixa declividade do terreno), enquanto os fragmentos florestais grandes e muito grandes estão situados na parte sul da área de estudo.

Figura 9. Mapa dos Fragmentos Florestais da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A – Mapa dos Fragmentos Florestais de 2010. B - Mapa dos Fragmentos Florestais de 2019.

Os quantitativos dos fragmentos florestais presentes na BHRS são mostrados na Tabela 12 e na Figura 10.

Tabela 12. Quantitativo dos fragmentos florestais da BHRS

Classes	2010				2019			
	Nº	Área (km ²)	Área (%)	Média*	Nº	Área (km ²)	Área (%)	Média*
Muito pequeno	3437	13,42	12,58	0,00**	3387	13,43	12,86	0,00**
Pequeno	84	5,76	5,40	0,07	95	6,54	6,26	0,07
Média	96	19,31	18,10	0,20	95	20,47	19,60	0,22
Grande	11	7,43	6,97	0,68	13	9,5	9,10	0,73
Muito grande	24	60,78	56,96	2,53	23	54,5	52,18	2,37
Total	3652	106,69	100	-	3613	104,44	100	-

Fonte: Autoria própria.

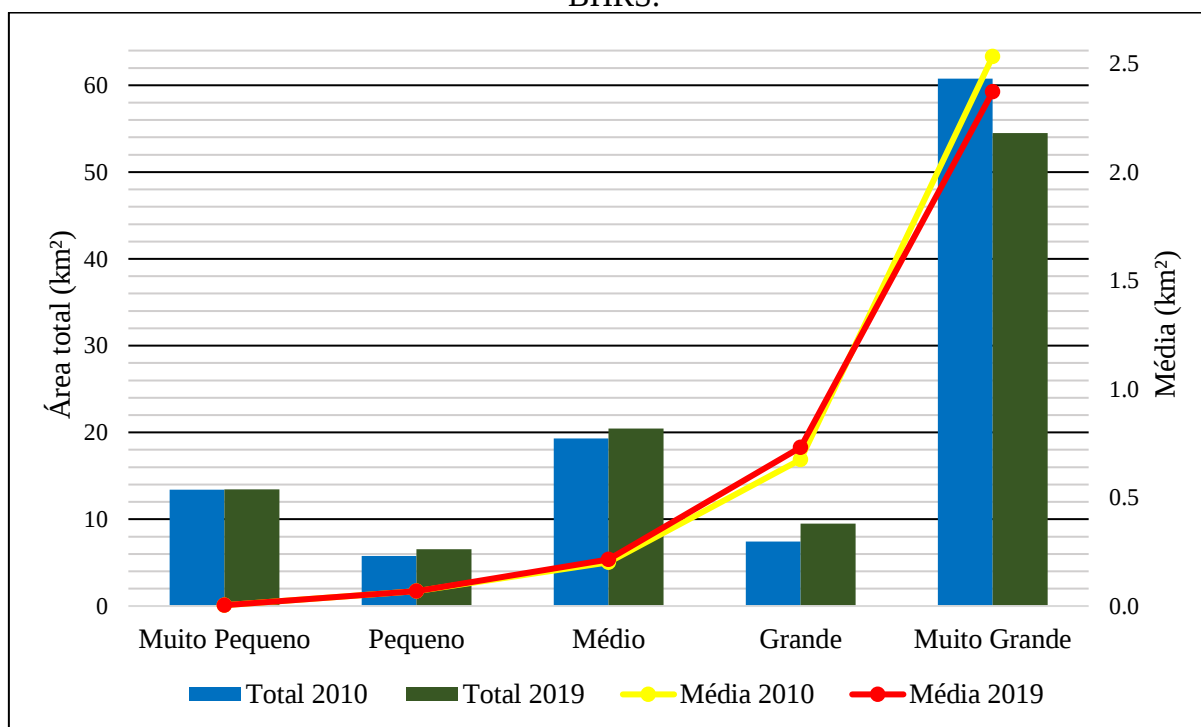
Legenda: * Média da área por classe. **0,004 km².

A BHRS possuía 3.652 fragmentos florestais em 2010 e 3.613 em 2019, sendo a maior parte composta por fragmentos classificados como muito pequenos, ou seja, menores que 5 hectares (3.437 em 2010 e 3.387 em 2019), evidenciando o aumento da fragmentação. A predominância da classe é resultado do manejo da área, sendo essa uma bacia hidrográfica de

caráter rural. Ao tratarmos da área ocupada pela classe, temos apenas 19,68% e 12,86% (2010 e 2019, respectivamente), e a diminuição entre os anos corrobora com a diminuição de área ocupada pela classe mata no uso do solo e cobertura vegetal. Os fragmentos muito pequenos e pequenos, geralmente apresentam pouco indivíduos por espécie podendo causar a extinção das espécies no local, mas podem ser utilizados como trampolins ecológicos com intuito de facilitar o fluxo gênico entre os fragmentos florestais maiores (COSTA, 2003; CALEGARI et al., 2010).

A diminuição do número de fragmentos florestais muito grandes (maiores que 100 ha) (de 24 para 23 fragmentos florestais) é a causadora do aumento dos fragmentos grandes, evidenciando a fragmentação florestal dos maiores fragmentos florestais da área de estudo. Sendo o número de fragmentos importantes para entender os padrões da paisagem e assim estudar a fragmentação. Outra medida boa para utilizar de indicativo da fragmentação é a área total ocupada por cada classe, assim como o tamanho médio dos fragmentos florestais (CALEGARI et al., 2010).

Figura 10. Gráfico dos graus de Fragilidade Potencial por variável e final para 2010 e 2019 da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

A partir da área ocupada por cada classe de tamanho de fragmento florestal (Tabela 12 e Figura 10) é possível notar a predominância dos fragmentos muito grandes nos dois anos (56,96 e 52,18% em 2010 e 2019, respectivamente), mas chamando atenção, também, para a

perda de área entre os dois anos. A redução de 4,78 km² e a diminuição do número de fragmentos florestais na classe explica o aumento da área ocupada pelos fragmentos grandes.

Outro fator que evidencia a ocorrência da fragmentação é a diminuição do tamanho médio dos fragmentos muito grandes entre 2010 e 2019 (2,53 km² para 2,37 km²). Tal fragmentação explica o aumento do tamanho médio dos fragmentos grandes e médios (0,68 km² para 0,73 km² nos grandes fragmentos florestais e 0,20 km² para 0,22 km² nos médios).

5.5. Transição da mudança de uso da terra entre 2010 e 2019

As transições ocorridas no uso da terra entre 2010 e 2019 na BHRS são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Matriz de transição para as categorias de uso do solo e cobertura vegetal no período de 2010 a 2019 (km²) na BHRS

Área (km ²)		Uso da terra (2019)									Total (2010)	Transição
		M	R	C	CT	P	AU	CA	CP	MI		
Uso da terra (2010)	M	104,43	0,40	1,49	0,16	0,02	0,18	0,01	-	0,01	106,69	2,26
	R	-	11,15	0,23	0,04	0,03	0,02	-	-	-	11,47	0,32
	C	-	0,71	36,46	1,64	0,47	1,27	0,02	0,19	0,08	40,85	4,39
	CT	-	0,15	0,23	27,81	0,22	0,13	-	0,03	-	28,56	0,75
	P	-	0,02	0,06	0,19	3,25	0,01	-	-	-	3,54	0,29
	AU	-	-	0,05	0,01	-	7,51	-	-	-	7,57	0,07
	CA	-	-	0,02	-	-	-	3,17	-	-	3,19	0,02
	CP	-	0,03	-	-	-	-	-	0,74	-	0,78	0,04
	MI	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0
	Total (2019)	104,44	12,47	38,54	29,85	3,98	9,12	3,21	0,96	0,12	202,68	8,12

Fonte: Adaptação de CETESB (2011) e SOUSA (2018)

Legenda: M: Matas; R: Reflorestamento; C: Campo; CT: Cultura temporária; P: Pastagem; AU: Área Urbanizada; CA: Corpo d'água; CP: Cultura permanente; MI: Mineração. Células preenchidas de verde: permanência de classe no período analisado; Células sem preenchimento: alterações entre os períodos; Células preenchidas de azul claro: total de áreas que tiveram transição por classe; Células preenchidas de azul escuro: total de área que sofreram transição; Célula preenchida em amarelo: total da área da BHRS; Células com -: não houve transição. Linhas representam as classes de uso do solo e cobertura vegetal de 2010 e as colunas representam as classes de uso do solo e cobertura vegetal de 2019.

A transição do uso da terra aconteceu em 8,12 km², sendo a classe campo a que sofreu maior transição (4,39 km²), ou seja, a classe que teve a área mais reduzida. A transição mais significativa aconteceu de campo para cultura temporária (1,64 km²) e a menor transição com a classe área urbanizada em 0,02km².

A segunda classe com maior transição foi mata com 2,26 km², sendo a maior entre matas e campo, com 1,49 km², e as menores foi para corpos d'água e mineração com 0,01 km².

As outras classes apresentaram transições menores que 1 km², sendo, entre elas, a cultura temporária que apresentou maior transição (0,75 km²) e a classe corpo d'água que apresentou transição de 0,02 km². A classe mineração não sofreu nenhuma perda de área.

Na Tabela 13 estão quantificados o total de área que cada classe ganhou e perdeu.

Tabela 13. Quantitativo de ganho e perda de área entre 2010 e 2019 na BHRS

Classes	Ganho de área (km ²)	Perda de área (km ²)	Total (km ²)
Mata	0	2,26	-2,26
Reflorestamento	1,31	0,32	0,99
Campo	2,08	4,39	-2,31
Cultura temporária	2,04	0,75	1,29
Pastagem	0,73	0,29	0,44
Área urbanizada	1,61	0,07	1,54
Corpo d'água	0,03	0,02	0,01
Cultura permanente	0,22	0,04	0,18
Mineração	0,09	0	0,09

Fonte: Autoria própria.

Legenda: Na coluna "total", os valores positivos são as classes que tiveram mais ganho de área do que perda, e os valores negativos são as classes que sofreram mais perdas de área do que ganho.

A classe mata não apresentou nenhum ganho de área e foi a segunda classe com maior perda de área (2,26 km²). A classe com maior ganho de área foi a classe campo com 2,08 km², sendo a maior parte entre campo e mata (1,49 km²), mas também apresentou a maior perda de área (4,39 km²), resultando na classe com o total maior e negativo (-2,31 km²).

A área urbanizada foi a classe que apresentou o maior total positivo, ou seja, a classe que mais ganhou área (ganhou 1,61 km² e perdeu 0,07 km² e o total de 1,54 km²). A segunda classe com maior total positivo foram as culturas temporárias, com 1,29 km² (ganhou 2,04 km² e perdeu 0,75 km²).

A classe mineração foi a única classe que não perdeu área, e apresentou acréscimo de 0,09 km² em 2019.

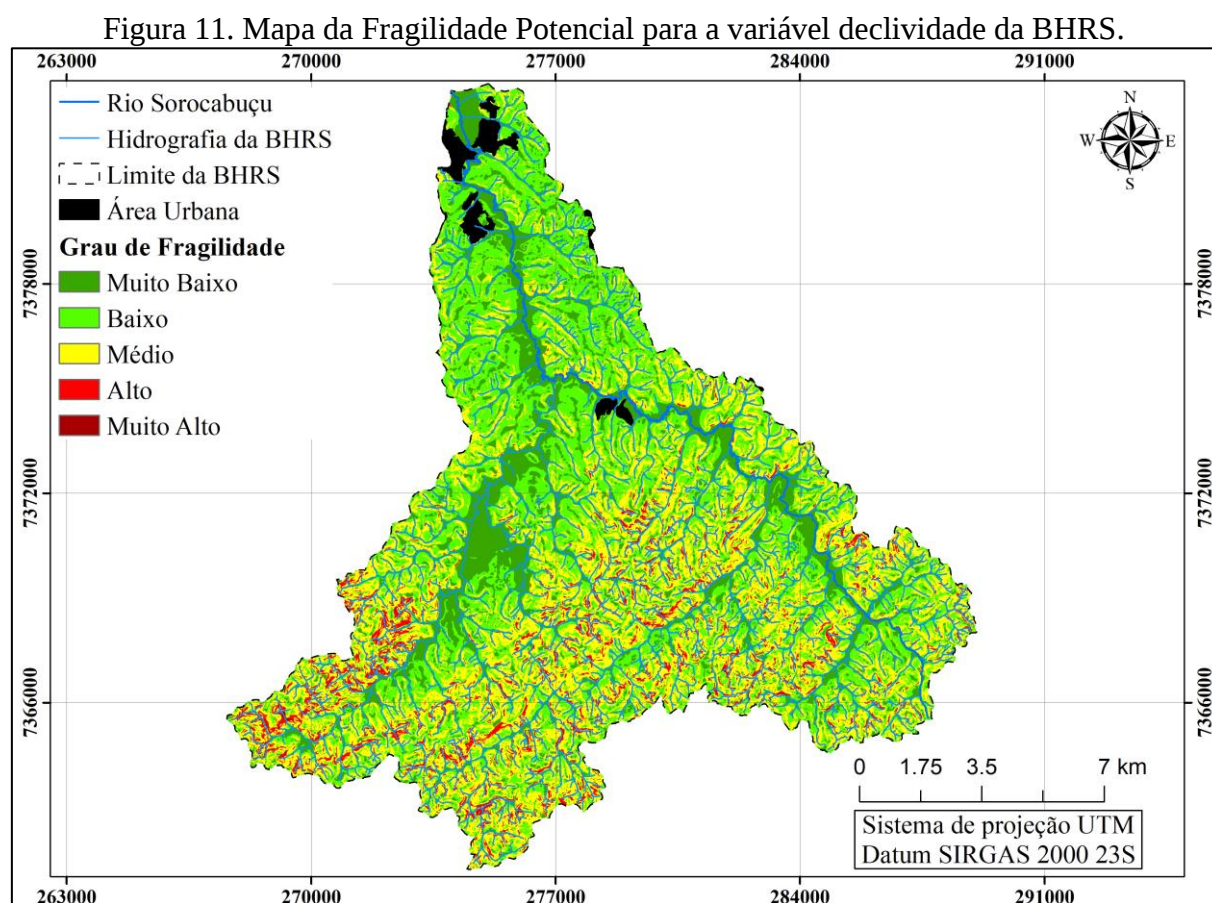
Desse modo, é possível observar o aumento das atividades antrópicas, principalmente da urbanização e do crescimento das atividades agropecuárias, com aproximadamente 1,9 km². Porém, o aumento das atividades agrícolas pode acarretar impactos negativos para o solo e água, como no uso inadequado do solo, utilização de agrotóxicos e fertilizantes, podendo levar à limitação ou inutilização do solo e à contaminação dos recursos hídricos (COSTA et al., 2019). A biodiversidade também sofre alterações, onde a interação entre espécies pode ficar

comprometida, a diminuição da flora e fauna, uma vez que o fluxo gênico pode ficar comprometido (BHAVNA; GEETA, 2011; VILA NOVA; TORRES; COELHO, 2015).

5.6. Mapeamento da Fragilidade Ambiental

5.6.1. Mapa da Fragilidade Potencial

O Mapa da Fragilidade Potencial para a variável declividade é apresentado na Figura 11. Nele, é possível observar que o grau de fragilidade muito baixo está localizado principalmente nos locais ocupados por rios, sendo esses, locais onde não há grande declividade, e que os locais com alta e muito alta fragilidade potencial estão localizadas na parte sul da área.



Fonte: Autoria própria.

O quantitativo para a variável declividade é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14. Quantitativo da Fragilidade Potencial para a variável declividade da BHRS

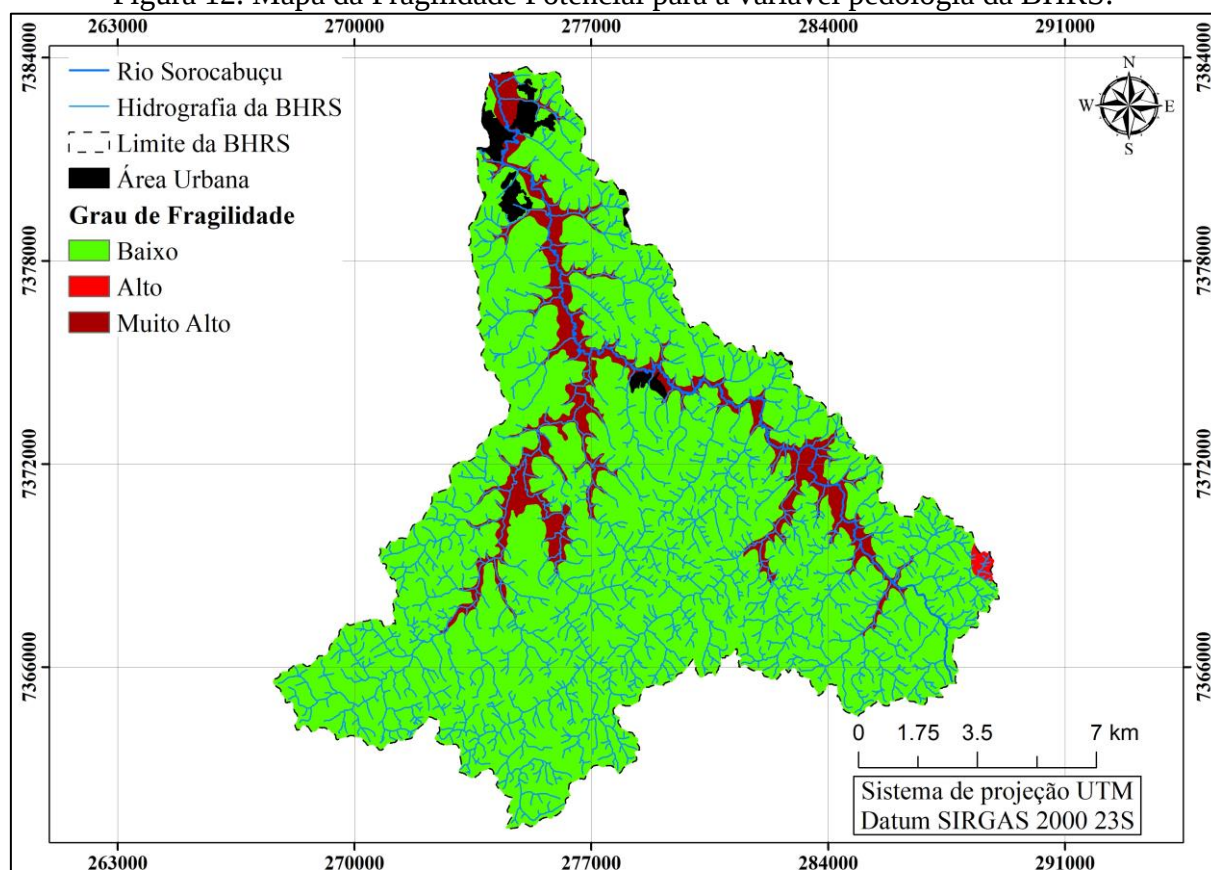
Grau de Fragilidade	Declividade	
	Área (km ²)	Área (%)
1 – Muito Baixo	39,99	20,09
2 – Baixo	72,27	36,32
3 – Médio	74,78	37,58
4 – Alto	11,56	5,81
5 – Muito Alto	0,40	0,20

Fonte: Autoria própria.

A variável declividade apresenta médio grau de fragilidade potencial (37,58%) na maior parte da BHRS. As áreas de declividade consideradas com fragilidade “muito baixa” representam 20,09% da BHRS, e são, principalmente, as áreas onde estão localizados os principais rios da bacia hidrográfica. Os locais com declividade com a fragilidade “muito alta” (0,20%) são as áreas mais declivosas, localizadas na parte sul da BHRS, sendo caracterizadas por áreas onde caso não possuam vegetação, danos podem ser causados aos recursos hídricos, devido ao escoamento superficial arrastar sedimentos (SILVA et al., 2017; SIMONETTI, et al., 2019).

O Mapa da Fragilidade Potencial para a variável pedologia é mostrado na Figura 12. Sendo possível observar que a extrema maioria da BHRS é ocupada por baixa fragilidade potencial, além da pequena presença do alto grau de fragilidade potencial na parte sudeste da área e o muito alto grau de fragilidade potencial presente nos locais ocupados pelos principais rios da BHRS.

Figura 12. Mapa da Fragilidade Potencial para a variável pedologia da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Para a pedologia a maior representatividade é de baixa fragilidade (89,26%), como possível observar nos quantitativos, apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Quantitativo da Fragilidade Potencial pedologia da BHRS

Grau de Fragilidade	Solo	
	Área (km ²)	Área (%)
1 – Muito Baixo	-	-
2 – Baixo	178,37	89,26
3 – Médio	-	-
4 – Alto	0,51	0,25
5 – Muito Alto	20,95	10,48

Fonte: Autoria própria.

Para a variável solo o maior representativo na BHRS é a fragilidade baixa, representados pelos Latossolos Vermelho-Amarelo. Esses solos são considerados de baixa fragilidade por apresentarem boa drenagem e por sua fertilidade natural, sendo solo muito utilizado para cultivos temporários, assim como acontece na área de estudo (IAC, 2015).

O segundo maior quantitativo para os solos é da fragilidade muito alta, representados pelo Gleissolo Háplico, sendo esses caracterizados por apresentarem dificuldade na infiltração

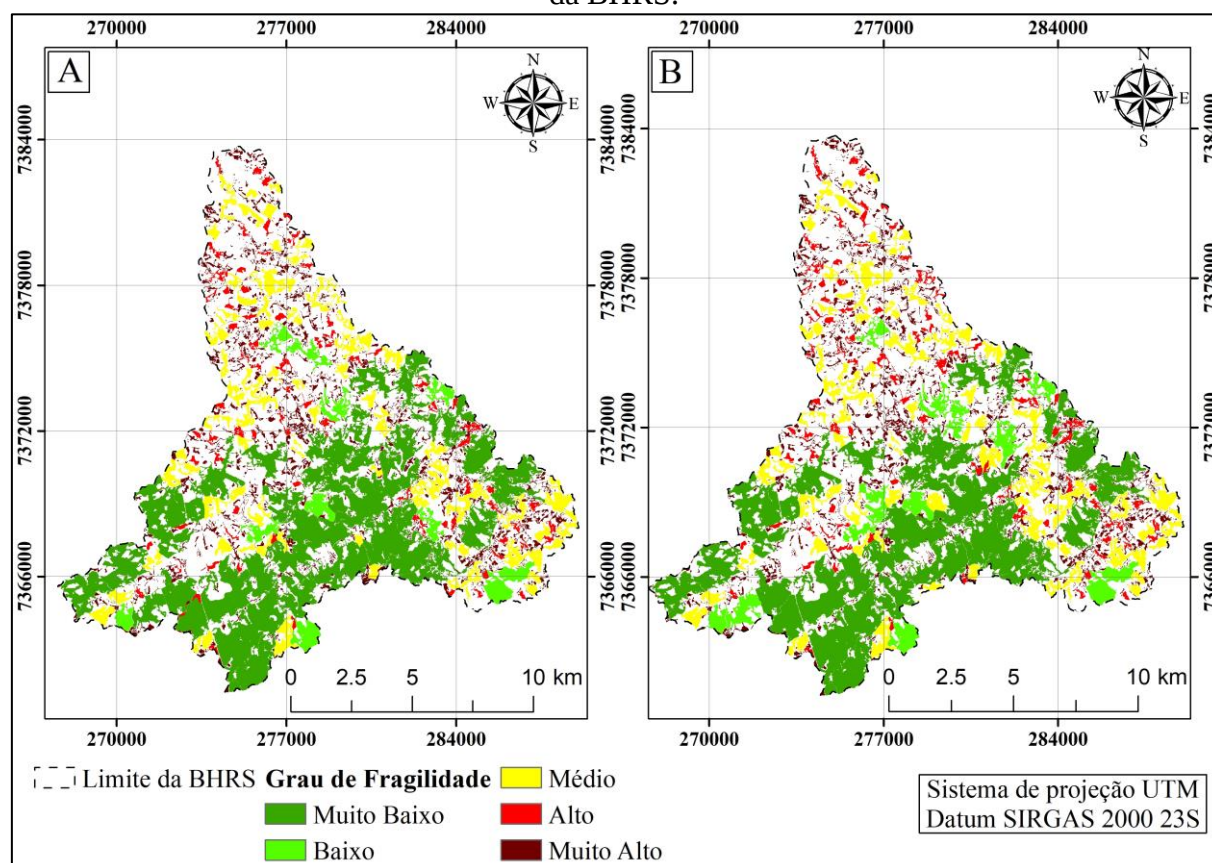
da água no perfil, causada pela saturação permanente ou temporária, assim, foram classificados como solos muito frágeis.

Os Cambissolos são conhecidos por serem solos jovens, desenvolvendo, principalmente, em áreas declivosas, dificultando o processo de infiltração da água, sendo classificado como alta fragilidade potencial (BONNA, 2011; FRANÇA, 2018).

Os Mapas da Fragilidade Potencial para a variável fragmentos florestais (2010 e 2019) são mostrados na Figura 13A – 13B, onde é possível observar que na parte sul da BHRS é ocupado principalmente pelo médio grau de fragilidade potencial.

Os fragmentos florestais maiores que 50 ha (muito baixo grau de fragilidade potencial) apresentam maior possibilidade de manter grande número de populações de fauna e flora, além de manter os fragmentos mais conservados que fragmentos menores (VIANA, 1995; VIANA; PINHEIRO, 1998).

Figura 13. Mapas da Fragilidade Potencial para a variável fragmentos florestais (2010 e 2019) da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A - Mapa da Fragilidade Potencial para a variável fragmentos florestais de 2010. B - Mapa da Fragilidade Potencial para a variável fragmentos florestais de 2019.

O quantitativo para 2010 e 2019 é apresentado na Tabela 16, sendo possível observar que para os fragmentos florestais a BHRS apresenta em sua maioria muito baixo grau de fragilidade potencial (56,97% em 2010 e 52,19% em 2019), seguido pelo médio grau de fragilidade potencial (18,10% em 2010 e 19,60% em 2019). O grau que menos representa a área, é o alto grau de fragilidade potencial, com 5,40% e 6,26% em 2010 e 2019, respectivamente.

Tabela 16. Quantitativo dos graus de fragilidade potencial dos fragmentos florestais da BHRS

Grau de Fragilidade	Fragmentos (2010)		Fragmentos (2019)	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
1 - Muito baixo	60,78	56,97	54,50	52,19
2 – Baixo	7,43	6,97	9,50	9,10
3 – Médio	19,31	18,10	20,46	19,60
4 – Alto	5,76	5,40	6,54	6,26
5 - Muito alto	13,42	12,58	13,43	12,86

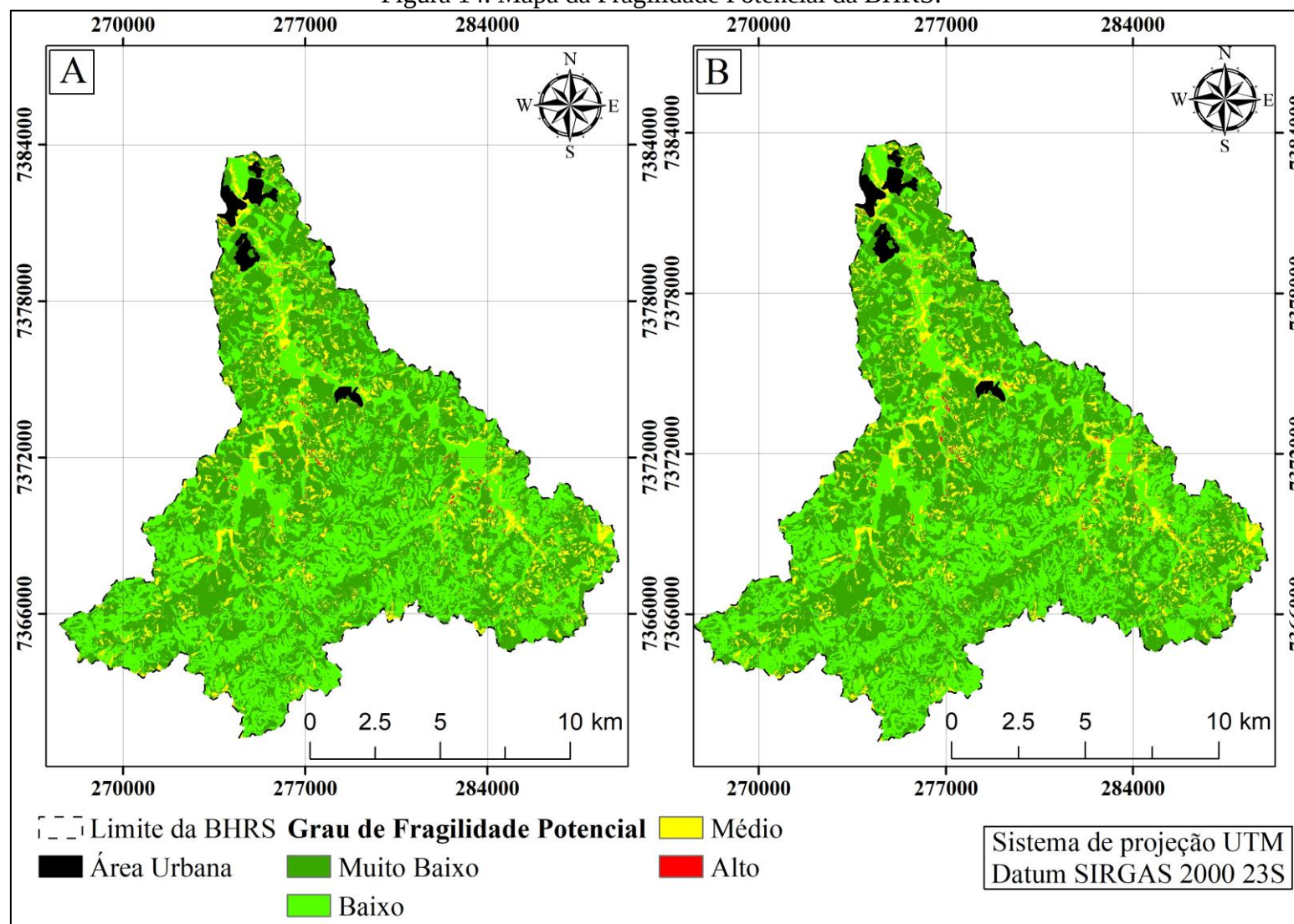
Fonte: Autoria própria.

Após a elaboração das variáveis, estas foram sobrepostas, gerando o Mapa de Fragilidade Potencial (Figura 14A – 14B).

Para os dois anos, é possível observar que a parte norte da BHRS é ocupada principalmente pelo muito baixo grau de fragilidade potencial e que o baixo grau de fragilidade potencial está situado principalmente na parte sul da área, mas também estando presente nas outras áreas.

É possível observar, também, que o alto grau de fragilidade potencial ocupam poucas áreas da BHRS nos dois anos.

Figura 14. Mapa da Fragilidade Potencial da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A - Mapa da Fragilidade Potencial de 2010. B - Mapa da Fragilidade Potencial de 2019.

O quantitativo da Fragilidade Potencial é apresentado na Tabela 17. Para 2010 e 2019, o maior representativo na BHRS é de muito baixo grau de fragilidade potencial, com 49,59% e 49,86%, respectivamente. A BHRS não apresentou muito alto grau de fragilidade potencial.

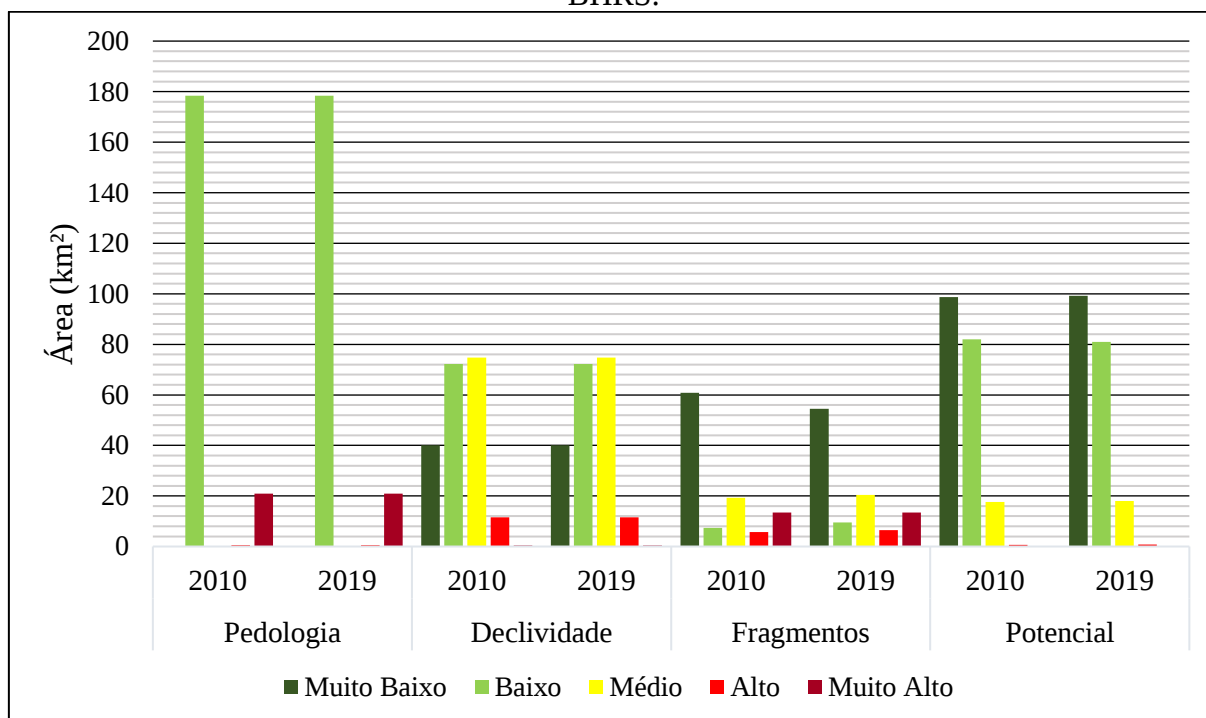
Tabela 17. Quantitativo da Fragilidade Potencial da BHRS

Grau de Fragilidade	Fragilidade Potencial (2010)		Fragilidade Potencial (2019)	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
1 – Muito Baixo	98,67	49,59	99,20	49,86
2 – Baixo	82,01	41,21	81,01	40,71
3 – Médio	17,60	8,84	18,00	9,04
4 – Alto	0,71	0,35	0,77	0,39
5 – Muito Alto	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Figura 15, em todas as variáveis o muito baixo e baixo grau de fragilidade é muito representativo, explicando o motivo da BHRS apresentar grande porcentagem de muito baixo e baixo grau de fragilidade potencial. A grande representação do muito baixo grau de fragilidade potencial, também pode ser explicada pelas áreas que não apresentam fragmentos florestais (quando não havia presença, foi classificado como 0).

Figura 15. Gráfico dos graus de Fragilidade Potencial por variável e final para 2010 e 2019 da BHRS.



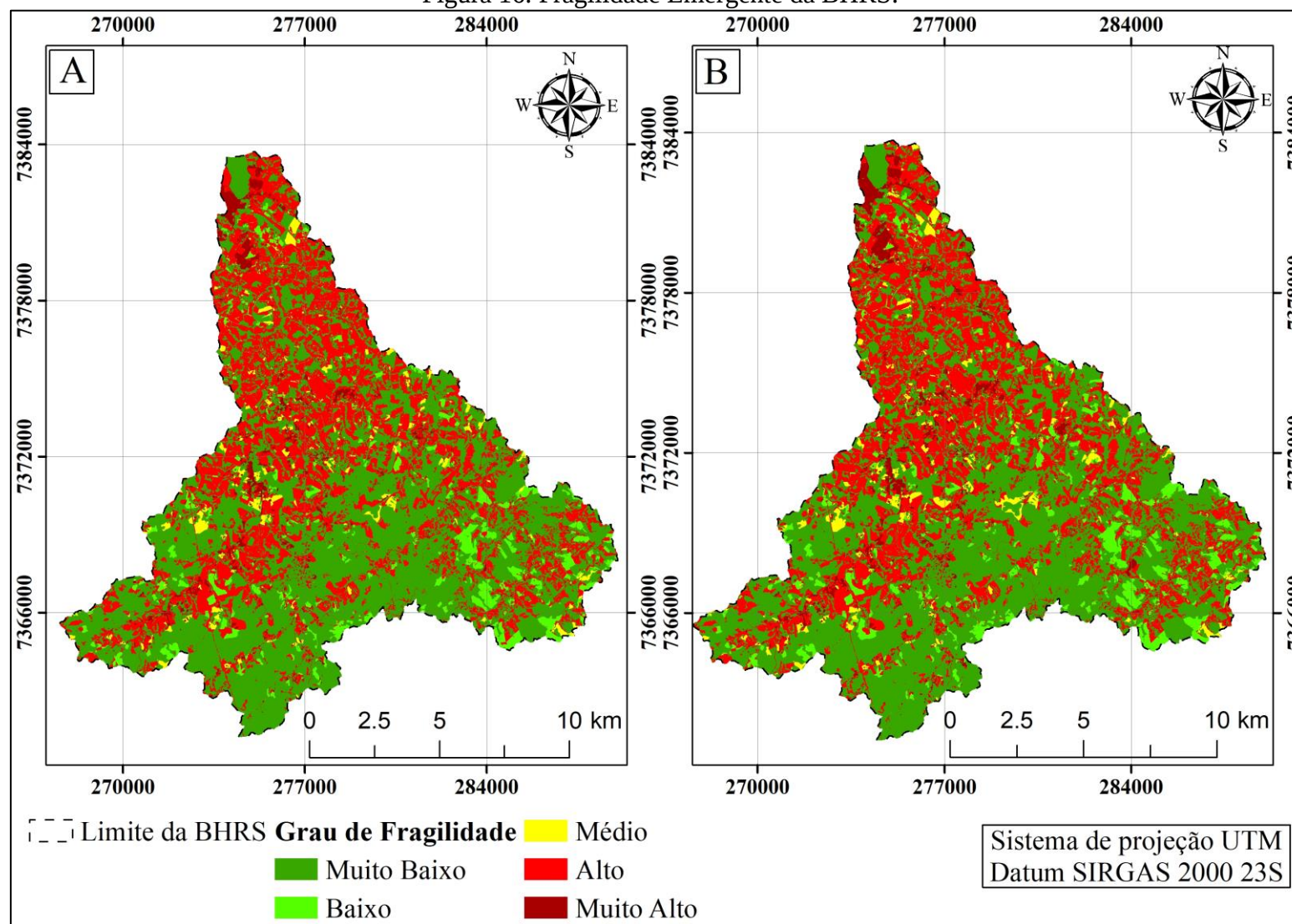
As áreas com alta fragilidade são aquelas que ocupam áreas com presença de Gleissolo Melânico e de fragmentos florestais menores que 50ha. As áreas com alta fragilidade potencial não foram classificadas como muito alta Fragilidade Potencial por estarem em áreas planas (classificadas com muito baixa Fragilidade Potencial).

Entre 2010 e 2019, aconteceu o aumento de todos os graus de fragilidade potencial, com exceção do baixo grau de fragilidade potencial, onde ocorreu uma pequena diminuição de 0,2% entre os anos.

5.6.2. Mapa da Fragilidade Emergente

A Figura 16A – 16B mostra o Mapa da Fragilidade Emergente, onde é possível ver que a parte sul da BRHS é ocupada principalmente pelo muito baixo grau de modificação, as áreas com baixo grau de modificação estão principalmente na parte sudeste e que o alto grau de modificação está presente na parte norte e centro da BHRS, mas com presença em toda sua extensão.

Figura 16. Fragilidade Emergente da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A - Mapa da Fragilidade Emergente de 2010. B - Mapa da Fragilidade Emergente de 2019.

O grau de modificação muito baixo é o que mais representa a BHRS, nos dois anos, com 54,22% em 2010 e 53,11% em 2019. O grau de modificação com menor representatividade é a média com 2,13% e 2,44% em 2010 e 2019, respectivamente. Os mapas da Fragilidade Emergente são apresentados e seus quantitativos na Tabela 18.

Tabela 18. Quantitativo da Fragilidade Emergente da BHRS

Grau de Modificação	2010		2019	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
1 – Muito Baixo	109,90	54,22	107,61	53,09
2 – Baixo	11,47	5,66	12,47	6,15
3 – Médio	4,32	2,13	4,97	2,45
4 – Alto	69,41	34,24	68,40	33,74
5 – Muito Alto	7,60	3,75	9,25	4,56

Fonte: Autoria própria.

O aumento do grau de modificação muito alta (de 7,60 km² para 9,24 km²) se deu pelo aumento das áreas urbanizadas, principalmente no norte da BHRS onde se dá o perímetro urbano de Ibiúna, mas também com o aumento de edificações rurais espaçadas pela BHRS, e pelo aumento da área de mineração. As áreas com o grau de modificação muito alta são áreas que tiveram muita e ainda necessitam da interferência humana para se manter no estado presente, além da queda significativa da vegetação (MEZZOMO; GASPARINI, 2016).

A diminuição do alto grau de modificação se deu pela grande perda de área da classe campo. As culturas temporárias e os campos foram classificados como alto grau de modificação pelo manejo do solo, pelo uso de agrotóxicos e fertilizantes (no caso das culturas temporárias), além da potencialização do risco de erosão e a diminuição do banco de sementes existente no solo (BELEM; NUCCI, 2011). O aumento das áreas de média modificação foi o menos significativo (de 4,32 km² para 4,94 km²).

As áreas com baixo grau de modificação são ocupadas pelas áreas de reflorestamento, e tiveram o aumento de 1 km².

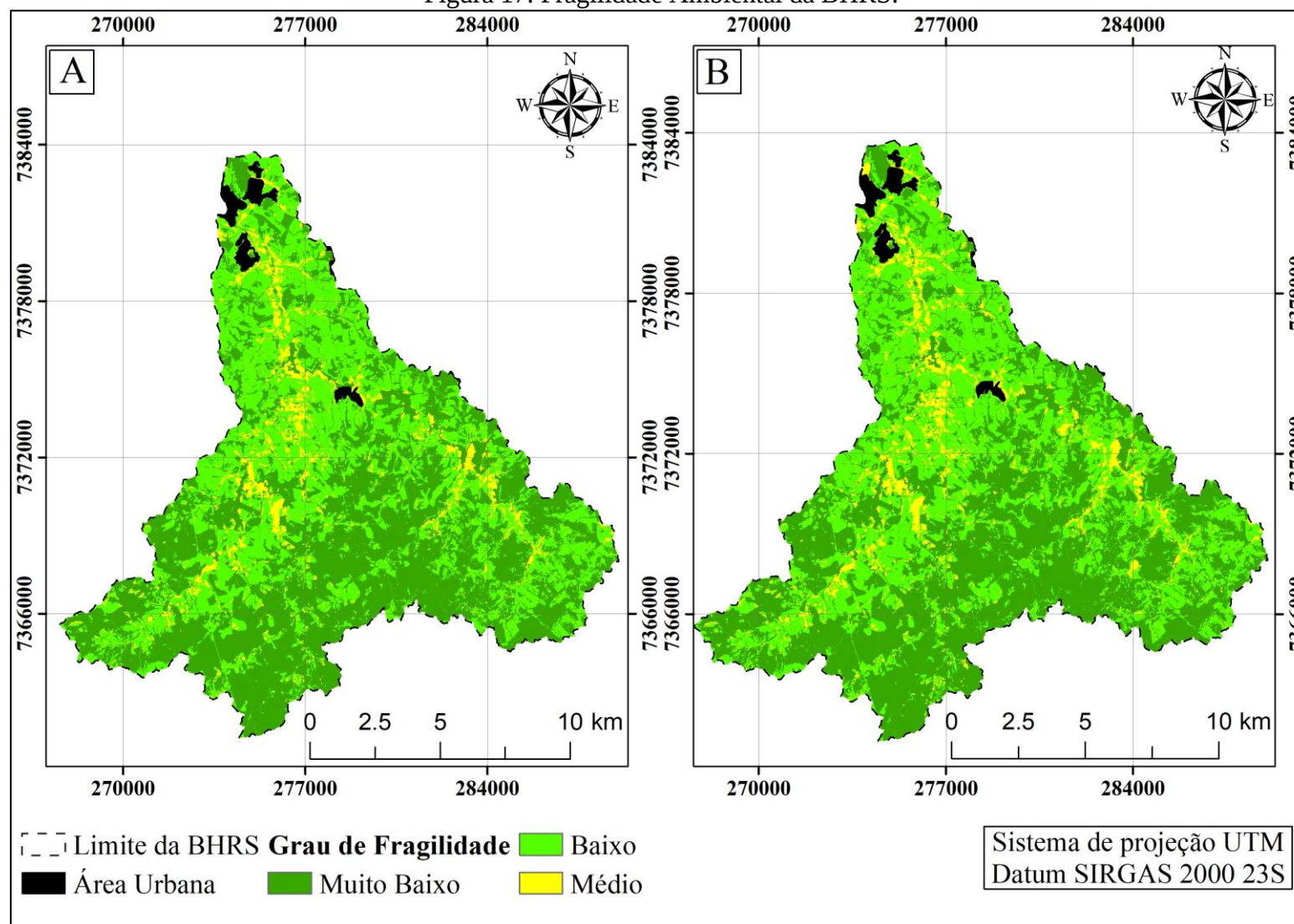
A classe com muito baixo grau de modificação são as áreas naturais, com presença marcante na área sul da BHRS. São áreas onde equilíbrio dinâmico não dependem da interferência humana para se manter, além de possuírem estabilidade ecológica e auto-regulação. Entre 2010 e 2019, essas áreas sofreram a perda de 2,24 km², onde grande parte dessa área foram transformadas em campo. É importante lembrar que a BHRS está inserida no bioma Mata Atlântica, considerado um *hotspot* mundial, e que este encontra-se amplamente fragmentado, sendo fundamental que haja o diagnóstico, planejamento e controle da paisagem

a fim de evitar o aumento da fragmentação florestal e não gerar mais efeitos negativos para as relações ecológicas, como a diminuição do fluxo gênico e da diversidade da fauna e flora, regulação do ciclo hidrológico (DANTAS et al., 2017; REX et al., 2018).

5.6.3. Mapa da Fragilidade Ambiental

Após o cruzamento dos Mapas de Fragilidade Potencial (2010 e 2019) e Fragilidade Emergente (2010 e 2019), obteve-se o mapa da Fragilidade Ambiental (2010 e 2019). Os Mapas da Fragilidade Ambiental (2010 e 2019) são mostrados na Figura 17A – 17B.

Figura 17. Fragilidade Ambiental da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A - Mapa da Fragilidade Ambiental de 2010. B - Mapa da Fragilidade Ambiental de 2019.

A Fragilidade Ambiental da BHRS é, em sua maioria, de muito baixo grau de Fragilidade Ambiental, tanto em 2010 (50,80%), quanto em 2019 (49,73%). Não foram observados o alto e muito alto grau Fragilidade Ambiental na área de estudo.

O quantitativo dos mapas é mostrado na Tabela 19.

Tabela 19. Quantitativo da Fragilidade Ambiental da BHRS

Grau de Fragilidade	2010		2019	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
1 – Muito Baixo	101,10	50,80	98,96	49,73
2 – Baixo	83,31	41,86	84,22	42,32
3 – Médio	14,59	7,33	15,82	7,95
4 – Alto	-	-	-	-
5 – Muito Alto	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

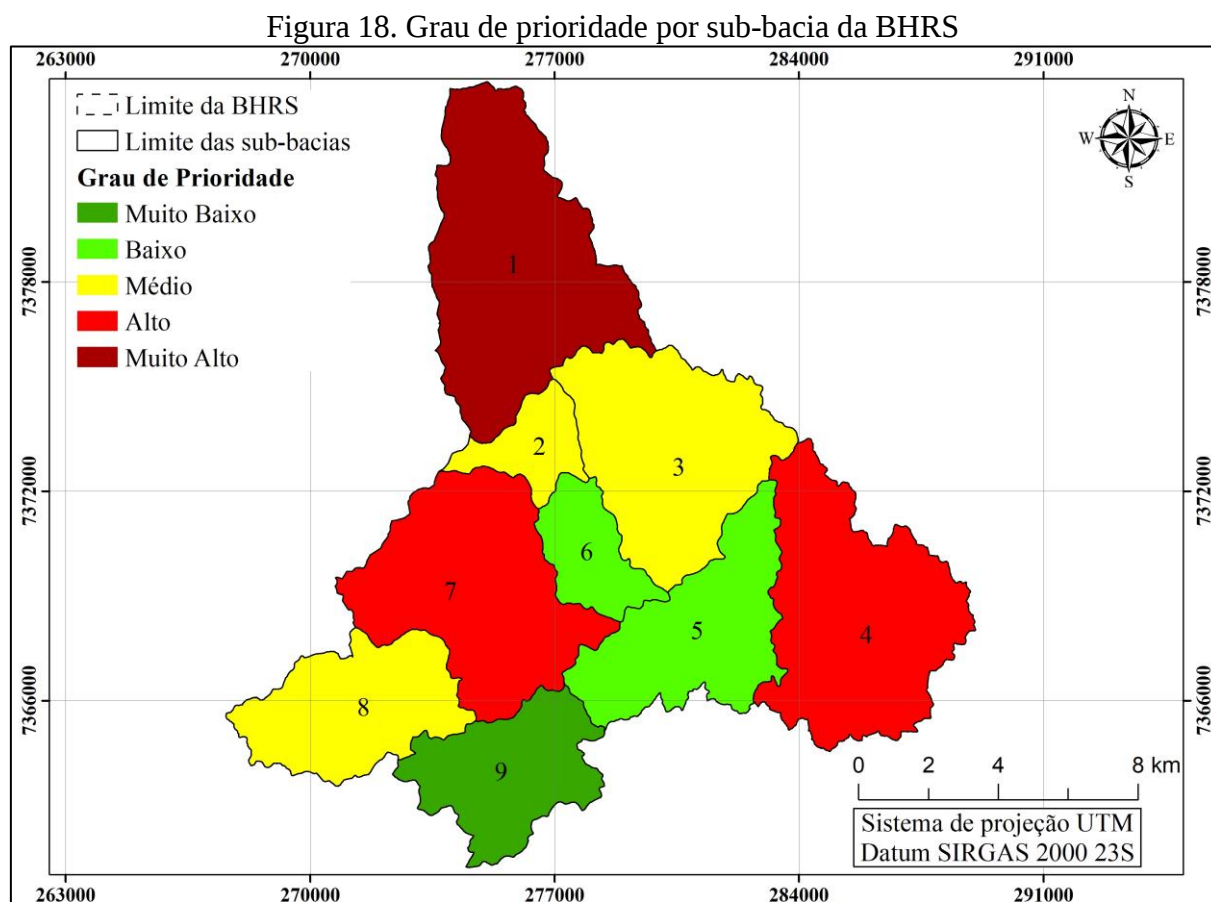
O muito baixo grau de fragilidade ambiental ocupa principalmente a parte sul da BHRS, local onde há a predominância dos maiores fragmentos florestais. Destaca-se que essas áreas são locais onde possuem maior probabilidade de sofrer perturbações, entretanto de conseguir se reestabelecer sozinho. Sendo o planejamento e gestão ambiental até mais importante nessas áreas por possuir remanescentes da Mata Atlântica (BRAGA et al., 2017).

As áreas com baixa fragilidade ambiental estão localizadas predominantemente na parte norte, sendo representadas por áreas com baixa declividade, com solo de baixa erodibilidade, resultando na fragilidade potencial muito baixa, mas com predominância da alta fragilidade emergente (campo e cultura temporária).

O médio grau de fragilidade ambiental é o menos representativo na área (7,33% e 7,49% para 2010 e 2019, respectivamente). As áreas com essa classe estão situadas em locais com área urbana e mineração (local com muito alta fragilidade emergente, mas com baixa fragilidade potencial).

A não presença da classe de alta fragilidade ambiental pode ser explicada pela baixa presença da classe na fragilidade potencial, uma vez que a classe ocupa grande área na fragilidade emergente.

Ao final, foi gerada a classificação do grau de fragilidade ambiental para as sub-bacias do ano de 2019. O Mapa de Grau de Prioridade de 2019 é mostrado na Figura 18 e o quantitativo dos graus de fragilidade por sub-bacia é apresentado na Tabela 20. A classificação foi feita levando-se em consideração a área do médio grau de Fragilidade Ambiental.



Fonte: Autoria própria.

A partir do mapa síntese levando em consideração a classe do médio grau de Fragilidade Ambiental, a prioridade é a sobre a sub-bacia 1, sendo esta ocupada principalmente por pequenos fragmentos florestais e com grande ocupação antrópica. Também na parte norte da BHRS, são os locais onde o crescimento urbano foi maior, reforçando a necessidade de atenção e planejamento do crescimento urbano.

Conforme o quantitativo dos graus de fragilidade ambiental por sub-bacia apresentados na Tabela 20, é possível verificar que a sub-bacia 9 apresenta a menor área com médio grau de fragilidade ambiental e a sub-bacia 1, a maior área (0,42 km² e 4,31 km², respectivamente).

Tabela 20. Quantitativo dos graus de fragilidade por sub-bacia da BHRS

Sub-bacia	Grau de fragilidade	Área (km ²)	Área (%)	Área total
1	Muito baixo	8,30	23,84	34,81
	Baixo	22,20	63,79	
	Médio	4,31	12,38	
2	Muito baixo	0,79	11,96	6,58
	Baixo	4,20	63,88	
	Médio	1,59	24,16	

Continua...

Continuação Tabela 20...

Sub-bacia	Grau de fragilidade	Área (km ²)	Área (%)	Área total
3	Muito baixo	12,54	43,93	28,55
	Baixo	14,23	49,83	
	Médio	1,78	6,23	
4	Muito baixo	18,03	55,49	32,50
	Baixo	12,43	38,25	
	Médio	2,04	6,27	
5	Muito baixo	15,28	70,91	21,55
	Baixo	5,37	24,92	
	Médio	0,90	4,17	
6	Muito baixo	4,26	50,66	8,40
	Baixo	3,54	42,10	
	Médio	0,61	7,23	
7	Muito baixo	15,26	49,35	30,92
	Baixo	12,70	41,07	
	Médio	2,96	9,58	
8	Muito baixo	10,52	55,58	18,93
	Baixo	7,19	37,99	
	Médio	1,22	6,43	
9	Muito baixo	13,97	83,41	16,75
	Baixo	2,35	14,06	
	Médio	0,42	2,53	

Fonte: Autoria própria.

As sub-bacias 4 e 7 foram classificadas como alto grau de prioridade e possuem, respectivamente, 2,04 km² e 2,96 km² de médio grau de Fragilidade Ambiental, sendo em ambos os casos, locais com grande proximidade entre as áreas ocupadas por culturas temporárias e fragmentos florestais, sendo necessário o cuidado para o manejo sustentável dos recursos naturais visando a eliminação, ou pelo menos, a diminuição de possíveis impactos ambientais negativos causados pela ocupação antrópica desordenada (PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012; BRAGA et al., 2017).

As sub-bacias 2, 3 e 8 foram classificadas como médio grau de prioridade. As sub-bacias citadas apresentam menos de 2 km² de áreas classificadas como médio grau de fragilidade ambiental (1,59 km², 1,78 km² e 1,22 km², respectivamente). Como baixo grau de prioridade, estão as sub-bacias 5 e 6, com 0,90 km² e 0,61 km², respectivamente. E por fim, a sub-bacia 9 foi classificada como muito baixo grau de prioridade, com 0,42 km², sendo a sub-bacia com grande parte da sua área ocupada por grandes fragmentos florestais, explicando sua grande área classificada como muito baixo grau de Fragilidade Ambiental. Mas é importante ressaltar que são áreas com grande resistência às pressões antrópicas, uma vez que essas pressões são baixas,

mas são áreas que necessitam de grande fiscalização, a fim de manter o estado atual da cobertura vegetal do local.

5.7. Predição de Cenário Futuro

A partir do módulo Markov do TerrSet foram geradas as probabilidades de mudança de uso do solo e cobertura vegetal para 2028. As probabilidades são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3. Matriz de probabilidades de transição de classes para uma predição dos próximos 9 anos da BHRS

	AU	C	CA	CP	CT	M	Mi	P	R
AU	0,9913	0,0063	-	-	0,0017	-	0,0005	-	0,0002
C	0,0311	0,8927	0,0006	0,0048	0,0400	0,0001	0,0021	0,0114	0,0173
CA	0,0002	0,0061	0,9934	-	0,0002	-	0,0001	-	-
CP	0,0031	0,0064	-	0,9446	0,0042	-	-	-	0,0417
CT	0,0045	0,0081	-	0,0010	0,9736	-	-	0,0076	0,0052
M	0,0017	0,0140	0,0001	-	0,0015	0,9788	0,0001	0,0001	0,0038
Mi	-	-	-	-	-	-	1,0000	-	-
P	0,0040	0,0169	0,0001	0,0001	0,0527	-	-	0,9194	0,0069
R	0,0017	0,0199	-	-	0,0037	-	-	0,0023	0,9725

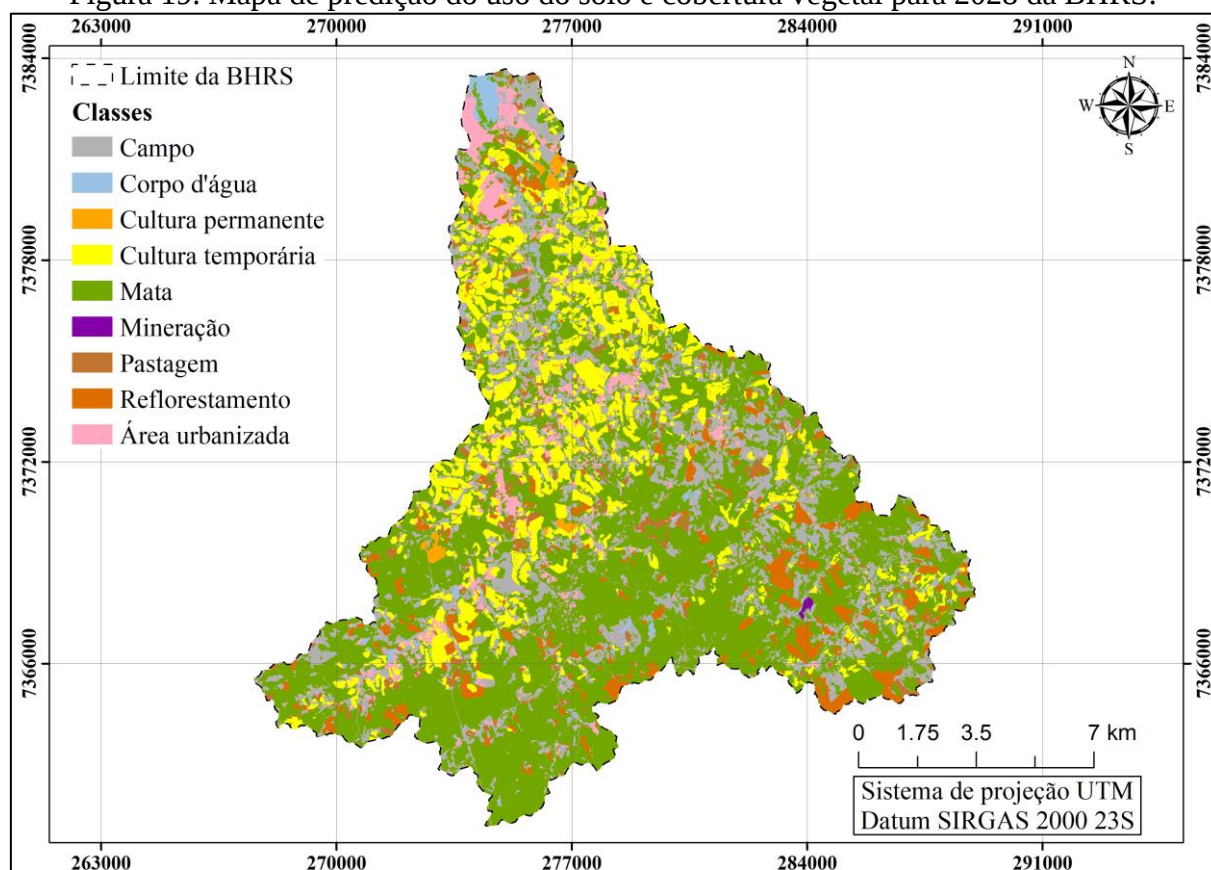
Legenda: AU: Área Urbanizada; C: Campo; CA: Corpo d'água; CP: Cultura permanente; CT: Cultura temporária; M: Matas; MI: Mineração; P: Pastagem; R: Reflorestamento. Células preenchidas de verde: probabilidade de permanência de classe no período analisado; Células sem preenchimento: probabilidade de alterações entre os períodos; Células com -: não há probabilidade de transição.

Fonte: Autoria própria

Segundo a matriz, a classe que apresenta maior probabilidade de permanência são as classes de mineração (100%), corpos d'água (99,34%) e área urbanizada (99,13%) e as classes com a menor probabilidade são as classes de campo (89,27%) e pastagem (91,94%). As classes com maior probabilidade de substituírem as matas serão as classes campo e reflorestamento (1,4% e 0,38%, respectivamente). A classe campo, a com a maior probabilidade de mudança, apresentou probabilidade de 4% de sua área ser substituída por culturas temporárias, 3,11% para área urbanizada e 1,73% para reflorestamento. A classe cultura temporária apresenta 5,27% de probabilidade de substituir as áreas de pastagens, sendo essa, a maior possível transição na área.

Após a análise dos mapas de uso do solo e cobertura vegetal de 2010 e 2019, foi obtido através da modelagem, disponível pelo Módulo *Markov*, o Mapa de Predição do Uso do Solo e Cobertura Vegetal para 2028. O resultado pode ser visto na Figura 19.

Figura 19. Mapa de predição do uso do solo e cobertura vegetal para 2028 da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

A Tabela 21 e a Figura 20 apresentam os resultados para o Mapa de Predição do Uso do Solo e Cobertura Vegetal para 2028. Nota-se o aumento de 0,64% das áreas ocupadas por áreas urbanizadas (de 8,91 km² passou para 10,22 km²) e 0,52% de cultura temporária (de 29,88 km² para 30,93%).

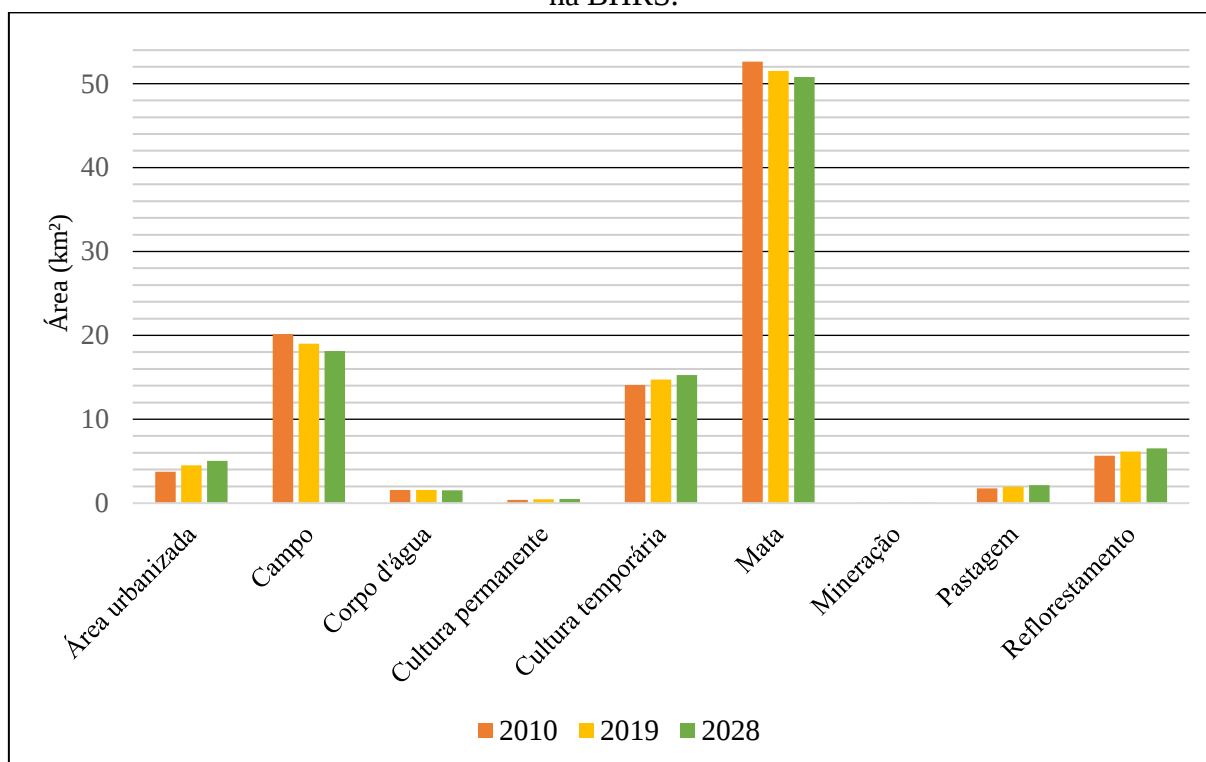
Tabela 21. Quantitativo das classes de uso do solo e cobertura vegetal de 2028 da BRHS

Classes	2028	
	Área (km ²)	Área (%)
Área urbanizada	10,22	5,04
Campo	36,76	18,14
Corpo d'água	3,13	1,55
Cultura permanente	1,02	0,50
Cultura temporária	30,93	15,26
Mata	102,90	50,78
Mineração	0,12	0,06
Pastagem	4,36	2,15
Reflorestamento	13,22	6,52

Fonte: Autoria própria.

É importante destacar a perda das áreas ocupadas por mata, de 104,60 km² passou para 102,90 km², totalizando uma diminuição de 1,7 km², porém, uma perda menor de área do que ocorreu entre 2010 e 2019 (2,26 km²). Outra classe que apresentou diminuição, são as áreas de campo (38,62 km² em 2019 e 36,76 km² em 2028, diminuição de 1,86 km²), também apresentando menor perda do que entre 2010 e 2019 (2,31 km²).

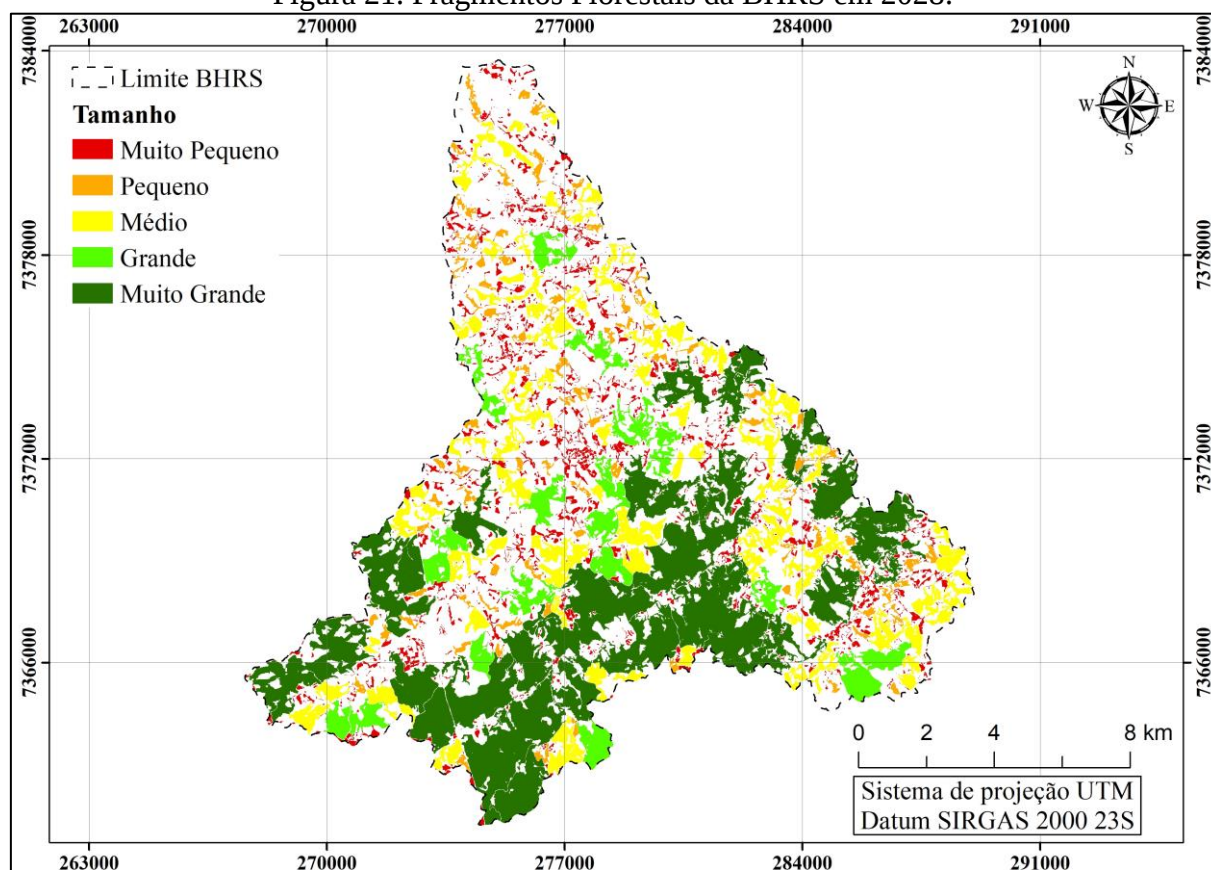
Figura 20. Gráfico do quantitativo do uso do solo e cobertura vegetal para 2010, 2019 e 2028 na BHRS.



Fonte: Autoria própria.

A predição dos fragmentos florestais para 2028 é apresentado na Figura 21. Nota-se na parte central da BHRS a fragmentação de alguns fragmentos florestais muito grandes (maiores que 100 ha).

Figura 21. Fragmentos Florestais da BHRS em 2028.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 22, é apresentado o quantitativo dos fragmentos florestais de 2028. Sendo possível notar o intenso aumento da quantidade dos fragmentos muito pequenos (menores que 5 ha). A fragmentação florestal é uma das causas da perda de biodiversidade, além de aumentar o efeito de borda e alterações na luminosidade, temperatura e umidade (SANTOS et al., 2017; COSTA et al., 2019).

Tabela 22. Quantitativo dos fragmentos florestais de 2028 da BRHS

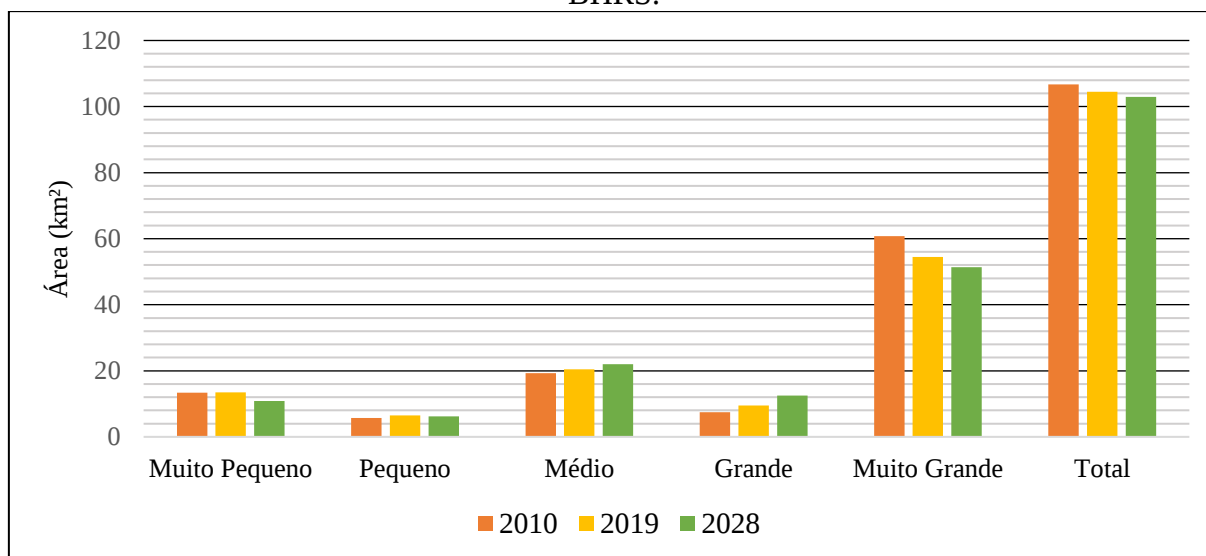
Tamanho	Área (km ²)	Área (%)	n°
Muito Pequeno	10,87	10,56	4828
Pequeno	6,21	6,04	87
Médio	21,96	21,34	96
Grande	12,45	12,10	18
Muito Grande	51,40	49,96	21
Total	102,90	100	5050

Fonte: Autoria própria.

Os fragmentos florestais muito grande (maiores que 100 ha) totalizam 51,40 km² em 2028, ou seja, 3,10 km² a menos desde 2019 e tendo a diminuição de 2 fragmentos entre os anos. Os médios e grandes fragmentos florestais aumentaram de área (21,34% e 12,10%,

respectivamente), e também apresentaram aumento na quantidade de fragmentos na classe (de 95 para 96, nos médios e de 13 a 18, nos grandes).

Figura 22. Gráfico do quantitativo dos fragmentos florestais para 2010, 2019 e 2028 na BHRS.



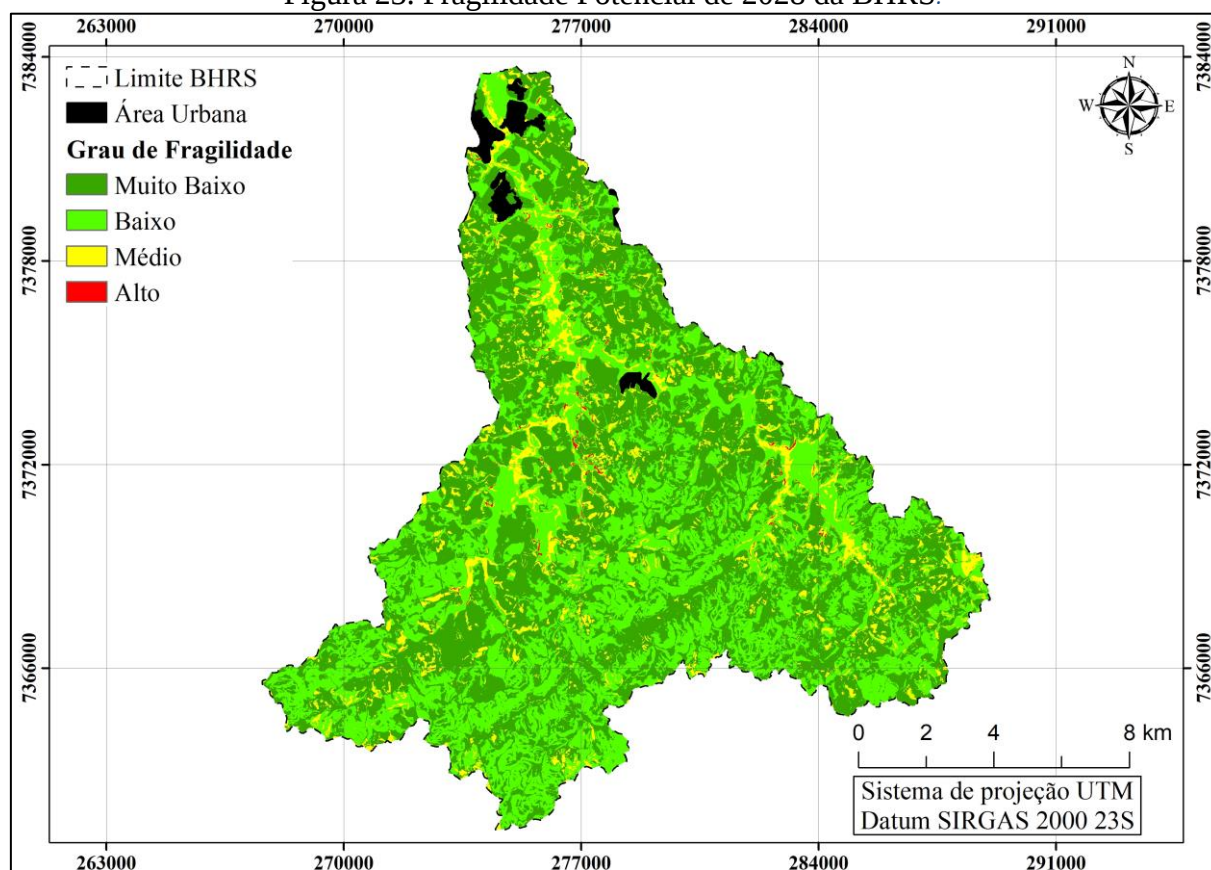
Fonte: Autoria própria.

Os mapas de predição para os fragmentos florestais mostram que o apesar da queda da cobertura vegetal, os valores não são altos. O total de área florestal perdida entre 2019 e 2028 é similar com a perda entre 2010 e 2019.

Através da predição do uso do solo e cobertura vegetal para 2028, foram gerados os mapas de Fragilidade Potencial (Figura 23), Fragilidade Emergente (Figura 24) e Fragilidade Ambiental (Figura 25) para 2028.

No mapa de Fragilidade Potencial de 2028 (Figura 23), é possível ver a parte sul da área de estudo é ocupada em sua maioria pelo baixo grau de fragilidade potencial, enquanto o alto grau de fragilidade potencial está distribuída por pequenas áreas por toda a BHRS.

Figura 23. Fragilidade Potencial de 2028 da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

O quantitativo da Fragilidade Potencial para 2028 é apresentado na Tabela 23, sendo possível observar que pouco mais da metade da área é classificada como muito baixo grau de fragilidade potencial (50,55%) e pouco ocupada pelo alto grau de fragilidade potencial (0,30%).

Tabela 23. Quantitativo dos graus de Fragilidade Potencial de 2028

Grau de Fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixo	100,59	50,55
Baixo	81,20	40,81
Médio	16,60	8,34
Alto	0,60	0,30
Muito Alto	-	-

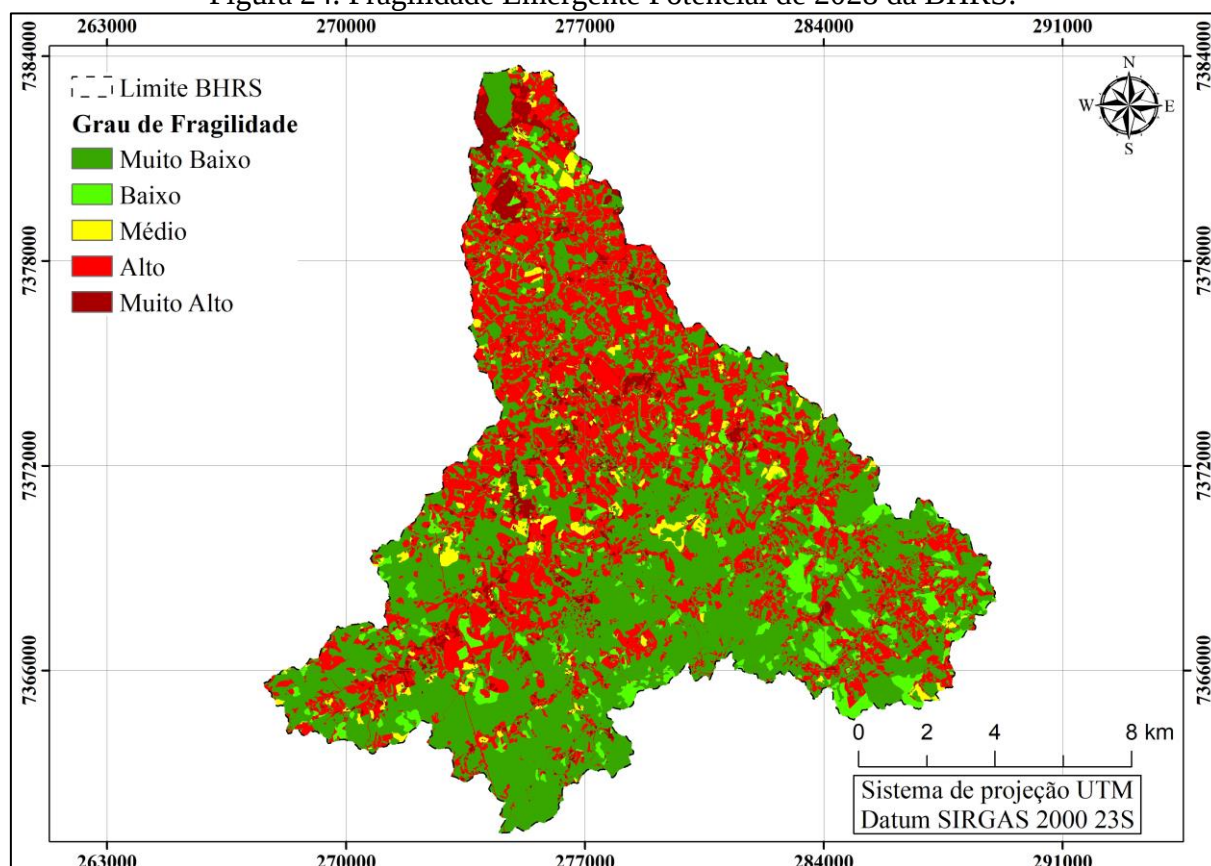
Fonte: Autoria própria.

A diferença entre a fragilidade potencial de 2019 e de 2028 se dá pelos fragmentos florestais, onde os fragmentos florestais maiores apresentam menor grau de fragilidade em relação aos maiores (representado por 1 e 5, respectivamente), e os locais que não são ocupados por cobertura vegetal foram classificados como 0, justificando o aumento da área do muito baixo e diminuição do alto grau de fragilidade potencial (de 99,20 km² para 100,59 km² e de

0,77 km² para 0,60 km², respectivamente). Em relação ao baixo grau de fragilidade potencial, houve um pequeno aumento de 0,19 km² na classe e para o médio grau de fragilidade potencial também houve diminuição na classe (de 18 km² para 16,60 km²) podendo, também, ser justificada pela diminuição da área ocupada pelos fragmentos florestais.

No mapa da Fragilidade Emergente de 2028 (Figura 24), nota-se que a parte norte da BHRS continua, majoritariamente, com muito alto grau de Fragilidade Emergente, enquanto a parte sul possui a maior concentração do muito baixo grau de Fragilidade Emergente.

Figura 24. Fragilidade Emergente Potencial de 2028 da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Através do quantitativo, apresentado na Tabela 24, é possível ver o aumento do baixo, médio e muito alto grau de Fragilidade Emergente (de 12,47 km² para 13,21 km², de 4,97 km² para 5,38 km² e de 9,25 km² para 10,34 km², respectivamente). O aumento do baixo grau de Fragilidade Emergente se deu pelo aumento das áreas reflorestadas; do médio grau, pelo aumento das pastagens e culturas temporárias; e do muito alto pelo aumento das áreas urbanizadas.

Tabela 24. Quantitativo dos graus de Fragilidade Emergente de 2028

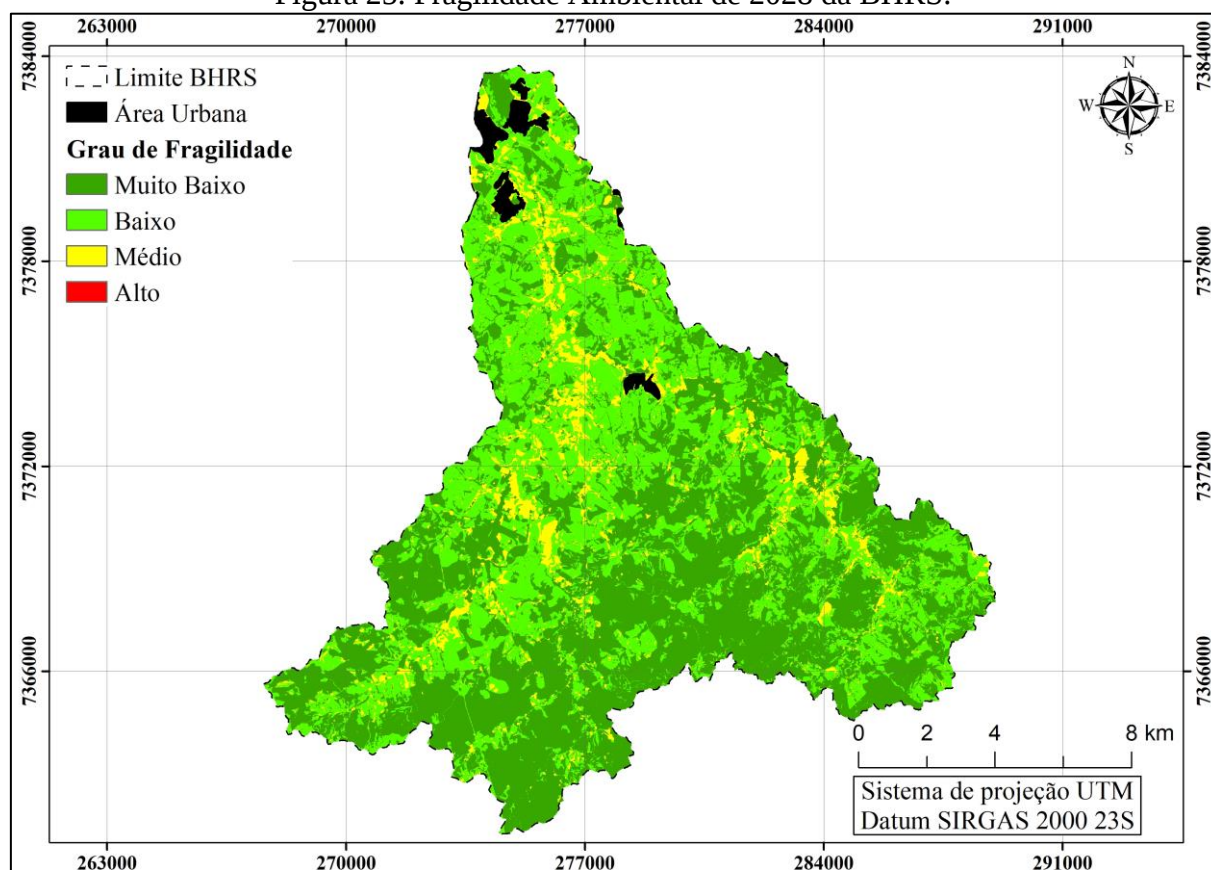
Grau de Modificação	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixo	106,04	52,32
Baixo	13,21	6,52
Médio	5,38	2,65
Alto	67,69	33,40
Muito Alto	10,34	5,10

Fonte: Autoria própria.

Quanto ao muito baixo e alto grau de fragilidade emergente, houve a diminuição das áreas ocupadas pelas classes (de 107,61 km² para 106,04 km² e de 69,41 km² para 67,69 km², respectivamente), devido à diminuição da cobertura vegetal (para o muito baixo grau) e das áreas de campo (para o alto grau).

No mapa de Fragilidade Ambiental de 2028 (Figura 25), nota-se a presença do muito baixo grau de fragilidade ambiental na parte sul da BHRS, local ocupado pelos grandes fragmentos florestais, sendo esses fragmentos mais resistentes à pressão antrópica do que os fragmentos florestais menores. As áreas ocupadas pelo médio grau de fragilidade ambiental estão localizadas principalmente próximos aos principais cursos hídricos. Em relação ao alto grau de fragilidade ambiental, são pequenas áreas isoladas distribuídas por toda a área, mas com maior ocupação na parte norte da BRHS.

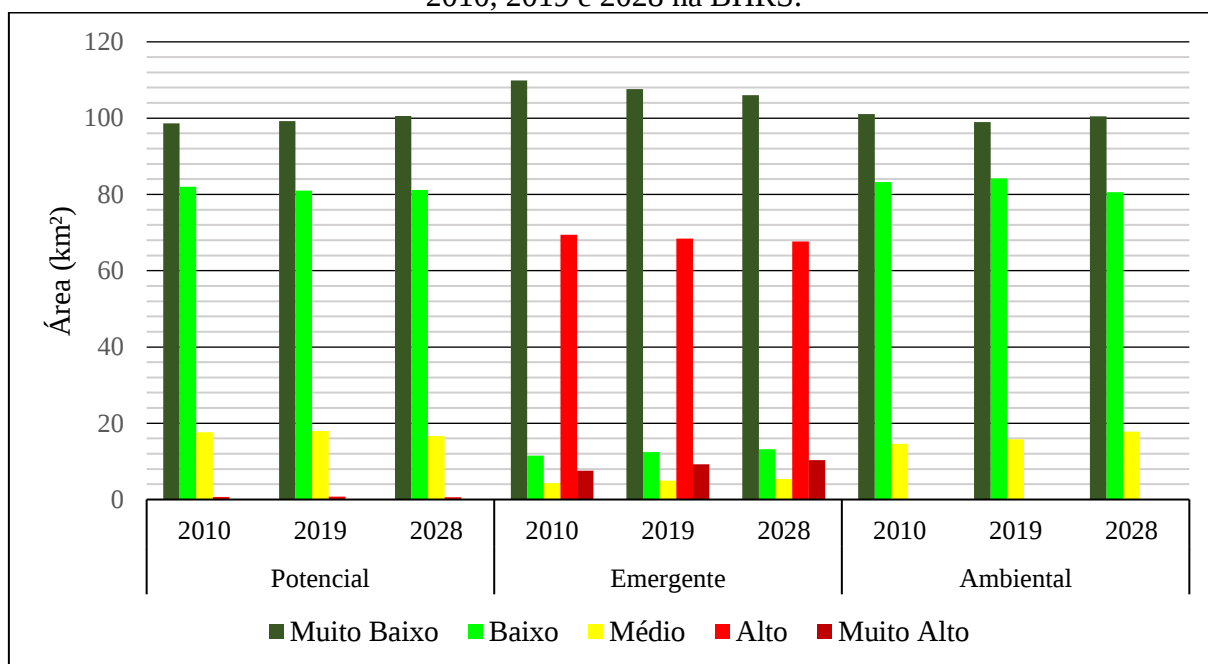
Figura 25. Fragilidade Ambiental de 2028 da BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Através da Tabela 25, é possível ver o quantitativo da Fragilidade Ambiental da BHRS, onde nota-se a o aumento do muito baixo grau de Fragilidade ambiental (de 98,96 km² em 2019 para 100,49 km²), causado pelo também aumento do muito baixo grau de fragilidade potencial. O médio grau de fragilidade ambiental também apresentou aumento, onde passou de 15,82 km² pra 17,79 km², além do pequeno aumento, e então aparecimento, do alto grau de fragilidade ambiental (aumento de 0,10 km²).

Figura 26. Gráfico do quantitativo das Fragilidade Potencial, Emergente e Ambiental para 2010, 2019 e 2028 na BHRS.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 25. Quantitativo dos graus de Fragilidade Ambiental de 2028 da BHRS

Grau de Fragilidade	Área (km²)	Área (%)
Muito Baixo	100,49	50,50
Baixo	80,61	40,51
Médio	17,79	8,94
Alto	0,10	0,05
Muito Alto	-	-

Fonte: Autoria própria.

Em relação ao baixo grau de fragilidade ambiental, houve a diminuição de 3,61 km² (de 84,22 km² para 80,61 km²), podendo ter sido causado pelo aumento do grau de modificação na área e consequente aumento da classe na fragilidade emergente.

6. CONCLUSÕES

Por meio dos objetivos e da metodologia aplicada foi possível analisar e entender a evolução, assim como propor um cenário futuro da Fragilidade Ambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu. O resultado obtido se mostra como potencial ferramenta de auxílio à gestores públicos na tomada de decisões e planejamento de futuras ações de manejo e conservação.

Durante o período de análise, com intervalo de 9 anos, a BHRS apresentou alterações nas formas de uso do solo e cobertura vegetal que indicam o aumento da interferência antrópica, principalmente para o uso agrícola, com destaque para as culturas temporárias e para o crescimento urbano, aumentando o risco de impactos ambientais negativos na área. Sendo esse aumento da interferência, principalmente nas áreas com menores declividades, presentes na porção norte da BHRS. É importante destacar a perda das áreas de matas, levando à fragmentação florestal.

Em relação à Fragilidade Potencial a BHRS apresentou-se com muito baixa fragilidade. Esse baixo grau de fragilidade se deu à grande presença de grandes fragmentos florestais e do Latossolo Vermelho-Amarelo. Em relação à Fragilidade Emergente, a BHRS apresenta mais de 50% da área com muito baixa modificação, representadas pelos fragmentos florestais. Porém, quase 40% da área apresenta alto e muito alto grau de modificação, indicando a intensa exposição da área aos usos antrópicos. É de extrema importância a proteção desses fragmentos florestais, principalmente dos maiores, uma vez que a fragmentação ocasiona vários impactos negativos na fauna e flora.

A BHRS apresentou muito baixa Fragilidade Ambiental para os dois anos, sendo estas, áreas que possuem grande resistência às pressões antrópicas, tendo o principal condicionante para o resultado a alta presença de mata (muito baixo grau de modificação). O resultado mostrou que a área de estudo, mesmo apresentando o crescimento do uso antrópico possui a maior porcentagem de áreas bem preservadas e de suma importância ecológica.

Diante da proposta de um cenário futuro para a BHRS, indica-se que as interferências antrópicas irão aumentar, principalmente ocasionadas pelo crescimento urbano e de práticas agrícolas, resultando sobretudo na perda de áreas florestais e no aumento do processo de fragmentação dos mesmos. Quanto ao cenário futuro para a Fragilidade Ambiental, poucas mudanças serão observadas visto à pequena alteração da paisagem.

Ações relacionadas ao manejo sustentável e conservação dos ecossistemas naturais são recomendadas com o intuito de manter a baixa alteração da paisagem apresentada no possível cenário futuro da BHRS.

A flexibilidade da metodologia da análise da Fragilidade Ambiental possibilita a incorporação de novos dados, resultando em informações mais condizentes à realidade do local trabalhado. Do mesmo modo, possibilita a utilização de dados que agreguem à finalidade do estudo, visto aos diversos conceitos e aplicações.

A utilização do SIG juntamente com a modelagem matemática ambiental se mostraram imprescindíveis ferramentas para a realização desse estudo. Por fim, espera-se que esse estudo possa contribuir em tomadas de decisões sobre a dinâmica e ordenamento do território da BHRS.

REFERÊNCIAS

- ALVES, W. S.; SCOPEL, I.; MARTINS, A. P. Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde, Sudoeste de Goiás. **GeoFocus**, nº 19, p. 81-108, 2017.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. Vulnerabilidade Ambiental. In: Vulnerabilidade Ambiental. Blucher. P.111
- ASSAD, E.; SANO, E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1993.
- ASSAF, C. C. Modelagem do uso e cobertura da terra como ferramenta de análise de políticas de conservação da natureza – estudo de caso Juréia - Itatins, 141f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa, WDL Publications, 1989. 295 p.
- BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A.; et al. Sensoriamento Remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 119 – 135, 2015.
- BELEM, A. L. G.; NUCCI, J. C. Hemerobia das paisagens: conceito, classificação e aplicação no bairro Pici – Fortaleza/CE. **Ra’e Ga: O espaço geográfico em análise**, v. 21, p. 204-233, 2011.
- BHAVNA, B.; GEETA, P. Avian Community Structure and diversity in two intensively monocultivated agricultural fields. **Biodiversity**, Hamburg, v. 12, no. 1, p. 28–37, 2011.
- BONNA, J. L. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG)**, 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- BRACCHETTI, L.; CAROTENUTO, L.; CATORCI, A. Land-cover changes in a remote area of central Apennines (Italy) and management directions. **Landscape and Urban Planning**, v. 104, n. 2, p. 157-170, 2012.
- BRAGA, C. C.; CABRAL, J. B. P.; LOPES, S. M. F.; et al. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu – Goiás. **Ciência e Natura**, v. 39, Ed. Esp., p.81 – 98, 2017.
- BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998.
- CÂMARA, G. Anatomia de Sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.; SANO, E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1993.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2019.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (Org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.871-880, 2010.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS E AGRICULTURA (CEPAGRI-UNICAMP). **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_228.html. Acesso em: 23 abr. 2019. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf> >. Acesso em 14 mai. 2019.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEREOLÓGICAS (CIIAGRO). **Série histórica de pluviosidade mensal de Ibiúna – SP**. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>. Acesso em: 23 abr. 2019.

CHAVES, H. M. L.; SANTOS, L. B. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, (Suplemento), p.922–930, 2009

CLARK LABS. TerrSet. Worcester: Clark Labs, Clark University. 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**. Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – Pro clima. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2011. 192p.

COSTA, R.B. **Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste**. Campo Grande: UCDB, 2003. 246 p.

COSTA, A.; GALVÃO, A.; SILVA, L.G. Mata Atlântica brasileira: análise do efeito de borda em fragmentos florestais remanescentes de um hotspot para conservação da biodiversidade. **Geomae**, Campo Mourão, v.10, n.1, p.112-123, 2019.

COSTA, H. F.; AMORIM, A. T.; SACRAMENTO, B. H.; et al. Avaliação da capacidade de uso da terra por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. **Anais eletrônicos [...]** Campinas, GALOÁ, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/avaliacao-da-capacidade-de-uso-da-terra-por-meio-de-tecnicas-de-geoprocessamento-e-sensoriamento-remoto->>. Acesso em: 04 mai. 2019.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, C. Geoprocessamento aplicado na determinação das classes de declividade e uso de terras da microbacia do Arroio Ajuricaba - Marechal Cândido Rondon - PR. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.33-41, 2007.

CREPANI, E.; MEDEIROS, JS; AZEVEDO, L.C.; et al. **Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. INPE, São José dos Campos, São Paulo, 2001.

DALMAS, F. B. Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI -11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e de movimentos de massas utilizando técnicas de geoprocessamento. 147f. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DANTAS, M.S.; ALMEIDA, N. V.; MEDEIROS, I. S. et al. Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, p.87-97, 2017.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Banco de Dados Hidrológicos**, DAEE, 2008.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 a 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 01-27, 2017.

EAKIN, H.; LUERS, A. L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. **Annual Review of Environmental Resources**, v. 31, p. 364-394, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

ESRI. ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE. ArcGIS v. 10.6. 2016.

FENGLER, F. H. Variação temporal dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

FITZ, P. R. Geografia Tecnológica. In: FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANÇA, L. C. J. Fragilidade Ambiental Potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

FRUET, J. G. W. Fragilidade ambiental: subsídios para a gestão de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon – PR. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rondon, 2016.

GARÓFALO, D. T.; FERREIRA, M. C. Mapeamento de fragilidade ambiental por meio de análise geoespacial: uma aplicação na alta bacia dos Rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim, na APA Fernão Dias, MG. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 29, p. 212-245, 2015.

GAYOSO, R. C. **Fragilidade ambiental e vulnerabilidade social para análise integrada do espaço geográfico: bacia hidrográfica no Jardim Ângela (São Paulo-SP)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GHEZZI, A. O. Avaliação e mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GOIS, G.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; et al. EVI2 index trend applied to the vegetation of the state of Rio de Janeiro based on Non-Parametric tests and Markov Chain. **Biosci. J.**, v. 32, n. 4, p. 1049-1058, 2016.

GONÇALVES, G. G. G. et al. Determinação da Fragilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 41, n. 4, p. 797-808, 2011.

GOOGLE LLC. Google Earth Pro, v. 7.3, Mountain View, 2019.

GUAN, D.; GAO, W.; WATARI, K.; et al. Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model. **J. Geogr. Sci.** v.18, p. 455 – 468, 2008.

GUIDOLINI, J. F.; ALMEIDA, A. M.; VALLE JÚNIOR, R. F.; et al. Modelagem da dinâmica do uso e ocupação do solo (1975 a 2010) na bacia do Rio Uberaba, município de Veríssimo – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis, **Anais [...]**. Florianópolis, 2013. p. 1-4.

HASENACK, H. O geoprocessamento no processo de tomada de decisão. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 20, n. 1, 1995.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Solos do Estado de São Paulo**. Campinas: IAC/Embrapa, 2015. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de Dados de Informações Ambientais**. 2019. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso 19 fev 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **IBGE cidades**. 2017. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/ibiuna/panorama>>. Acesso 15 dez. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

KÖPPEN, W. **Climatología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da Microbacia do Córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba, SP. **FLORESTA**, v. 46, n. 4, p. 439-446, 2016.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J. et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 2013

MACEDO, D. R.; HUGHES, R. M.; KAUFMANN, P. R. CALLISTO, M. Development and validation of na environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. **Science of the Total Environment**. v. 635, p. 1267-1279, 2018.

MARTIN NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Alterações qualitativas da matéria orgânica e os fatores determinantes da sua estabilidade num solo podzólico vermelho-escuro em diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos [...]**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 443, ref. 6-141.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MEZZOMO, M. M.; GASPARINI, G. S. Estudo da alteração antrópica (hemerobia) da Bacia Hidrográfica do Rio Mourão – PR. **Ra'e Ga: O espaço geográfico em análise**, v. 36, p. 280-301, 2016.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: 5 de jun. 2019

MILANEZI, C. H. S.; PEREIRA, J. G. Caracterização da vulnerabilidade ambiental na Microbacia do Córrego Azul, Ivinhema – MS. **Geografia** (Londrina), v. 25., n. 1., p.43-63, 2016.

- OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.de; ROSSI, M.; et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos, 1999. v. 1. 64 p. (inclui Mapa, escala 1:500.000).
- PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Alto Uruguai. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 535 – 548, 2014.
- PANIZZA, A. C; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP: Espaço e Tempo** (Online), n. 30, p. 30-43, 2011.
- PINESE JUNIOR J.F., RODRIGUES S.C. O Método de Análise Hierárquica – AHP – Como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 23, p. 4-26, 2012.
- QUEIROZ JUNIOR V.S.; CABRAL J.B.P.; ROCHA I.R.; et al. Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO), **GeoFocus**, n. 15, p. 193- 212, 2014.
- REX, F. E.; CORTE, A. P. D.; KAZAMA, V. S.; et al. Análise métrica da cobertura florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno – PR. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 184-192, 2018.
- RIBAS, R. P.; GONTIJO, B. M.; MOURA, A. C. M. Análise da conectividade entre fragmentos de vegetação na paisagem: estudo na região da Serra do Espinhaço em Minas Gerais, **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 2, p. 301-312, 2016.
- RICOBOM, A. E.; CANEPARO, S. C. A cartografia prospectiva e a geração de mapas preditivos do uso e cobertura da terra – estudo de caso perímetro urbano de Paranaguá. **Ra’e Ga: O espaço geográfico em análise**, v. 31, p. 227-259, 2014.
- RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência Guarapuava**, v. 12, n.1, p. 101-117, 2016.
- ROCHA, N. S.; CRUZ, R. C.; PADILHA, D. G.; et al. Fragilidades ambientais e vulnerabilidade dos pecuaristas familiares frente à disponibilidade hídrica do Alto Camaquã/RS. **O espaço Geográfico em Análise, Curitiba**, v. 45, p. 153-169, 2018.
- ROSA, M. R.; ROSS, J. L. Aplicação de SIG na Geração de Cartas de Fragilidade. **Revista do Departamento de Geografia, São Paulo**, nº 13, 1999
- ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista Do Departamento De Geografia**, v.8, p.63-74, 1994.
- ROSS, J. L. S. – O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, nº 6. p. 16 – 30, 1992.
- ROSS, J. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. especial 30 anos, p. 38-51, 2012.
- ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.
- RUHOFF, A.; FANTIN-CRUZ, I.; COLLISCHONN, W. Modelos de simulação dinâmica do desmatamento na Amazônia. **Caminhos da Geografia**, v.11, n. 36, p. 258-268, Uberlândia, 2010.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: Mcgraw-hill, 287 p., 1980.

- SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP**. 2015. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, São Paulo, 2015.
- SALES, J. C. A.; SILVA, D. C. C.; ROMAGNANO, L. F. T.; et al. Avaliação do impacto ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de Markov. **Ciência e Natura**, v. 38, n.1, p. 115-124, 2016.
- SALMONA, Y. B. **Cerrado com C ou com S? Modelagem de cenários futuros para o bioma**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Fronteira Agrícola e a Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do Rio Preto – Oeste da Bahia. **R. Ra’e Ga**, v. 36, p.179-207, 2016.
- SANTOS, J. F. C.; MENDONÇA, B. A. F.; ARAÚJO, E. J. G. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **R. bras. Bioci.**, Porto Alegre, v. 15, n.3, p. 151-158, 2017.
- SANTOS, S. I. P. **Cenários de alterações de uso e ocupação do solo até 2040 em Portugal Continental**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
- SILVA, A. N.; LIRA, C.; TABORDA, R.; et al. **Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial**. DGRM, Lisboa, Portugal. 2016. E-book disponível em: https://www.sophia-mar.pt/pt/recursos_pedagogicos/5. Acesso em 5 de jun. 2019.
- SILVA, D. C. C.; FILHO, J. L. A., OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Aplicação de Indicadores Ambientais para Análise da Água em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017.
- SILVA, G. D. A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira: o caso de duas subbacias hidrográficas formadoras do Reservatório Jaguari-Jacareí. 2012.
- SILVA, J. J. I.; CANEPARO, S. C. Análise das variações espaciais no município de Pontal do Paraná (Paraná – Brasil), entre os anos de 1980 e 2032 decorrentes da instalação do complexo portuário. **Revista Cerrados**, v. 15, n. 2, p. 263-290, 2017.
- SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. E.; FREITAS, N. P.; et al. Análise espacial da fragilidade ambiental a partir do relevo da APA Itupararanga (SP). **Revista Hipótese**, v. 5, p. 272-289, 2019.
- SOUSA, J. A. P. **Mudanças de uso da terra e estimativa de emissões antrópicas de CO₂ em Bacia Hidrográfica**. 2018. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2018.
- SOUZA, S. M.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; et al. Análise dos fragmentos florestais urbanos da cidade de Vitória – ES. **Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n.1, p. 112-124, 2013.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39 - 49, 2004.
- TRAFICANTE, D. P. **Fragilidade Ambiental da APA Corumbatai-Botucatu-Tejupá (Perímetro Botucatu, SP, Brasil) na Bacia Hidrográfica do Rio Capivara**. 2016. 122f.

- Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, Botucatu, 2016.
- TRAFICANTE, D. P.; CAMPOS, S.; MANZIONE, R. L.; et al. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Capivara, Botucatu – SP. **Energia na Agricultura**, v. 32, n. 1, p. 88-95, 2017.
- TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; DIAS, L. C. C.; et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos – SP. **O espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 272-288, 2018.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 97p
- TROPPMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. Rio Claro: edição do autor, 1989, 258p.
- TURNER, I. A.; CORLETT, R. T. The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 8, p. 330-333, 1996.
- VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009.
- VIANA, V. M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensivamente cultivadas. In: **Abordagens interdisciplinares para a conservação da biodiversidade e dinâmica do uso da terra no novo mundo**. Belo Horizonte/Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/University of Florida, 1995. p. 135-154.
- VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.
- VILA NOVA, F. V. P.; TORRES, M. F. A.; COELHO, M. P. Uso do solo e cobertura vegetal e indicadores ambientais de impactos negativos: baixo curso do Rio São Francisco, Estado de Alagoas, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 1-14, 2015.
- VITTE, A C.; SANTOS, I. Proposta Metodológica para Determinação de Unidades de Conservação a partir do Conceito de Fragilidade Ambiental. **Revista Paranaense de Geografia**, nº 4, p. 60-69, 1999.
- XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento no Apoio à Decisão. **Revista Continentes**, [S.l.], n. 9, p. 105-115, jul. 2016.
- ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia – PPGeo**. v. 7, n.2, p. 195-201, 2017.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Agrupamento em cada grau de Fragilidade Potencial

Quadro 4. Agrupamentos contidos em cada grau da Fragilidade Potencial

Graus de Fragilidade Potencial da Declividade; solo; fragmentos, respectivamente (1,2,3,4,5); (2,4,5); (0,1,2,3,4,5)				
Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Agrupamentos				
1;2;0	2;2;0	3;2;0	4;2;0	5;2;0
1;2;1	2;2;1	3;2;1	4;2;1	5;2;1
1;2;2	2;2;2	3;2;2	4;2;2	5;2;2
1;2;3	2;2;3	3;2;3	4;2;3	5;2;3
1;2;4	2;2;4	3;2;4	4;2;4	5;2;4
1;2;5	2;2;5	3;2;5	4;2;5	5;2;5
1;4;0	2;4;0	3;4;0	4;4;0	5;4;0
1;4;3	2;4;3	3;4;3	4;4;3	5;4;3
1;4;4	2;4;4	3;4;4	4;4;4	5;4;4
1;4;5	2;4;5	3;4;5	4;4;5	5;4;5
1;5;0	2;5;0	3;5;0	4;5;0	5;5;0
1;5;3	2;5;3	3;5;3	4;5;3	5;5;3
1;5;5	2;5;5	3;5;5	4;5;5	5;5;5
1;2;0	2;2;0	3;2;0	4;2;0	5;2;0
1;2;3	2;2;3	3;2;3	4;2;3	5;2;3
1;2;4	2;2;4	3;2;4	4;2;4	5;2;4
1;2;5	2;2;5	3;2;5	4;2;5	5;2;5
1;4;0	2;4;0	3;4;0	4;4;0	5;4;0
1;4;3	2;4;3	3;4;3	4;4;3	5;4;3
1;4;4	2;4;4	3;4;4	4;4;4	5;4;4
1;4;5	2;4;5	3;4;5	4;4;5	5;4;5
1;5;0	2;5;0	3;5;0	4;5;0	5;5;0
1;5;3	2;5;3	3;5;3	4;5;3	5;5;3

Fonte: Autoria própria.

Legenda: A primeira variável é sobre a declividade, a segunda variável é sobre o solo, a terceira variável é sobre o tamanho do fragmento. No tamanho do fragmento o valor 0 é para representar que não há fragmento florestal. As células preenchidas de azul mostram muito baixa fragilidade, as células de verde mostram baixa fragilidade, as preenchidas de amarelo mostram média fragilidade, as preenchidas de laranja mostram alta fragilidade e as preenchidas de vermelho mostram muito alta fragilidade.

APÊNDICE B - Agrupamento em cada grau de Fragilidade Ambiental

Quadro 5. Agrupamentos contidos em cada grau da Fragilidade Ambiental

Fragilidade Potencial; Fragilidade Emergente (1,2,3,4,5); (1,2,3,4,5)				
Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Agrupamentos				
1;1	1;2	1;3	1;4	1;5
2;1	2;2	2;3	2;4	2;5
3;1	3;2	3;3	3;4	3;5
4;1	4;2	4;3	4;4	4;5
5;1	5;2	5;3	5;4	5;5

Fonte: Autoria própria.

Legenda: A primeira variável é sobre a fragilidade potencial, a segunda variável é sobre a fragilidade emergente. As células preenchidas de verde claro mostram muito baixa fragilidade, as células de verde mostram baixa fragilidade, as preenchidas de amarelo mostram média fragilidade, as preenchidas de laranja mostram alta fragilidade e as preenchidas de vermelho mostram muito alta fragilidade.