

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

AMANDA TRINDADE AMORIM

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE IDENTIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE
SUCESSÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS DO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

Sorocaba
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*



unesp
Sorocaba

AMANDA TRINDADE AMORIM

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE IDENTIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE
SUCESSÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS DO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

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
2018

A524p Amorim, Amanda Trindade
Proposta metodológica de identificação dos estágios de
sucessão de fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica
/ Amanda Trindade Amorim. -- Sorocaba, 2018
102 f. : il., tabs., fotos, mapas

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

1. Fragmentos florestais. 2. Indicador do Estágio de
Sucessão. 3. Geotecnologias. 4. Modelagem matemática. 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.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Proposta metodológica de identificação dos estágios de sucessão de fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica

AUTORA: AMANDA TRINDADE AMORIM

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
Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba



Profª. Drª. KELLY CRISTINA TONELLO
Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR



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

Sorocaba, 11 de dezembro de 2018

*Aos meus pais Amilton e Margarete, meu
irmão Gustavo e meu companheiro Carlos
Henrique, com muito amor e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por conduzir ao meu melhor todos dias.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba por proporcionarem condições de trabalho e me possibilitarem a dedicação para a realização desta pesquisa.

Aos docentes do programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e aos funcionários da Unesp Sorocaba.

Ao meu orientador Roberto Wagner Lourenço (China), por acreditar, confiar e compartilhar seus conhecimentos comigo. Pelo bom relacionamento proporcionado nessa trajetória, contribuindo também com meu crescimento científico, profissional e pessoal.

Ao laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental, que me proporcionou parceiros (Jocy, Rita, Elfany, Jomil, Naia, Bruna, Hetiany, Marina, Bruno, Giovana, Lucimara), por todo conhecimento compartilhado e apoio, não apenas como colegas de trabalho, mas também pela amizade construída.

E a todos meus amigos e familiares que sempre estiveram comigo nessa trajetória com o apoio eterno e amor incondicional, meus sinceros agradecimentos.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

AMORIM, A. T. **Proposta metodológica de identificação dos estágios de sucessão de fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica**. 2018. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Instituto de Ciência e Tecnologia, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018.

RESUMO

Os estágios de sucessão dos fragmentos florestais podem ser avaliados por diferentes procedimentos e variáveis, entretanto requerem bastante tempo e esforços de trabalhos em campo, além de elevados custos e pessoal qualificado para sua avaliação. Diversas pesquisas propõem métodos alternativos, utilizando técnicas de geoprocessamento e o sensoriamento remoto, porém observa-se a necessidade de incorporar novos métodos para essa avaliação, visando aprimorar e reduzir os custos de levantamento de dados. A presente pesquisa teve por objetivo estudar fragmentos florestais de Mata Atlântica, priorizando o conhecimento dos estágios de sucessão com o intuito de propor um método de avaliação desses estágios visando contribuir com o planejamento e a gestão ambiental para preservação e conservação dos recursos florestais. A área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio Murundú-Paiol, inserida no bioma Mata Atlântica, localizada no município de Ibiúna, São Paulo. Inicialmente a metodologia consistiu na construção de uma base cartográfica de apoio a partir de cartas topográficas do município de Ibiúna/SP (escala 1:10.000), compartimentação morfométrica em três níveis de altitude (baixo, médio e alto), e no mapeamento do uso e cobertura da terra a partir de ortoimagens do sensor Vexcel Ultracam. Do mapeamento do uso e cobertura da terra, foram extraídos os fragmentos florestais para avaliação de suas métricas, bem como para a avaliação do efeito antrópico em seu entorno. Os fragmentos florestais também foram avaliados quanto às condicionantes físicas do terreno (altitude, declividade e orientação do terreno) e posteriormente quanto às suas características espectrais a partir dos índices de vegetação (SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e IAF - Índice de Área Foliar) obtidos por imagens do satélite *RapidEye*, que permitem avaliar seus parâmetros biofísicos. Foram selecionados 14 fragmentos florestais para avaliação dos seus estágios em campo, a partir de um levantamento ecológico que priorizou a descrição qualitativa de fatores indicativos dos estágios de sucessão. Por fim, foi proposto um indicador dos estágios de sucessão (IES) que integrou os parâmetros que obtiveram forte correlação entre si. Os resultados mostraram que a área da bacia hidrográfica apresenta o total de 57,9% de matas, com maior conservação do setor alto, exibindo maior fragmentação da paisagem no setor baixo da bacia hidrográfica. Dentre todos os parâmetros avaliados, a melhor correlação foi entre as classes dos índices SAVI e IAF (0,91), seguidos da correlação entre o SAVI com as classes de altitude (0,797) e de relevo (0,782), respectivamente. A construção do IES integrou então as classes do SAVI, as classes de altitude e as classes referentes ao relevo. A partir do IES observa-se que dos 72 fragmentos florestais, 16 são indicativos de estágio inicial, 31 de estágio médio e 25 de estágio avançado de sucessão e verificou-se uma acurácia de 85,7% dos fragmentos avaliados pelo IES. O indicador proposto pode ser replicado em outras áreas do bioma Mata Atlântica e mostrou ser uma alternativa científica viável e eficiente na observação e avaliação dos estágios de sucessão de fragmentos florestais deste bioma, podendo contribuir com o planejamento e gestão ambiental dos recursos florestais.

Palavras-chave: Fragmentos florestais. Indicador do Estágio de Sucessão. Geotecnologias. Modelagem matemática.

AMORIM, A. T. **Methodological proposal for the identification of stages of succession of forest fragments of the Atlantic Forest biome**. 2018. 102 f. Dissertation (Master's degree Environmental Sciences). Institute of Science and Technology, UNESP - Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2018.

ABSTRACT

The stages of succession of the forest fragments can be evaluated by different procedures and variables, however they require a lot of time and fieldwork efforts, as well as high costs and qualified personnel for evaluation. Several researches propose alternative methods, using geoprocessing techniques and remote sensing, but it is necessary to incorporate new methods for this evaluation, in order to improve and reduce the costs of data collection. The present research had the objective to study forest fragments of Atlantic Forest, prioritizing the knowledge of succession stages with the purpose of proposing a method of evaluation of these stages in order to contribute to environmental planning and management for the preservation and conservation of forest resources. The study area was the Murundú-Paiol river watershed, inserted in the Mata Atlântica biome, located in Ibiúna, São Paulo. Initially, the methodology consisted in the composition of a cartographic base of support from topographic maps of the city of Ibiúna/SP (scale 1: 10,000), morphometric subdivision at three levels of altitude (low, medium and high), and in the mapping of land use from orthoimages of the *Vexcel Ultracam* sensor. From the land use mapping, the forest fragments were extracted to evaluate their metrics, as well as to evaluate the anthropic effect in their environment. The forest fragments were also evaluated for the physical conditions of the terrain (altitude, slope and aspect) and later on their spectral characteristics from the vegetation indexes (SAVI - Soil-adjusted vegetation index and LAI - Leaf area index) obtained by images from the *RapidEye* satellite, that allow to evaluate its biophysical parameters. A total of 14 forest fragments were selected to evaluate their stages in the field, starting with an ecological survey that prioritized the qualitative description of factors indicative of succession stages. Finally, an indicator of the stages of succession (IES) were proposed that integrated the parameters that obtained a strong correlation with each other. The results showed that the area of the watershed presents the total of 57.88% of forests, with greater conservation of the high sector, exhibiting greater fragmentation of the landscape in the low sector of the watershed. Among all the parameters evaluated, the best correlation was between the SAVI and LAI index classes (0.91), followed by the SAVI correlation with the altitude classes (0.797) and the relief class (0.782), respectively. The construction of the IES then integrated SAVI classes, altitude classes and relief classes. From the IES it can be observed that of the 72 forest fragments, 16 are indicative of the initial stage, 31 of the middle stage and 25 of the advanced stage of succession, and an accuracy of 85.7% of the fragments evaluated by the IES. The proposed indicator can be replicated in other areas of the Atlantic Forest biome and proved to be a viable and efficient scientific alternative in the observation and evaluation of the stages of succession of forest fragments of this biome, contributing to the environmental planning and management of forest resources.

Keywords: Forest fragments. Indicator of the stage of succession. Geotechnology. Mathematical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Murundú-Paiol, Ibiúna, SP	28
Figura 2. Unidades litológicas da BHRMP, Ibiúna, SP	30
Figura 3. Pedologia da BHRMP, Ibiúna, SP	31
Figura 4. Articulação das cartas topográficas utilizadas	33
Figura 5. Diagrama metodológico	43
Figura 6. Mapa base planialtimétrico da BHRMP, Ibiúna, SP.....	44
Figura 7. Perfil topográfico do eixo principal da BHRMP, Ibiúna, SP	45
Figura 8. Hipsometria e divisão da compartimentação topográfica da BHRMP, Ibiúna, SP ..	46
Figura 9. Mapa de uso e cobertura da terra da BHRMP, Ibiúna, SP	47
Figura 10. Áreas urbanizadas da BHRMP, Ibiúna, SP	48
Figura 11. Áreas de campo da BHRMP, Ibiúna, SP.....	49
Figura 12. Áreas de cultura permanente da BHRMP, Ibiúna, SP	49
Figura 13. Áreas de culturas temporárias da BHRMP, Ibiúna, SP.....	50
Figura 14. Áreas de lâmina d'água da BHRMP, Ibiúna, SP	50
Figura 15. Áreas de matas da BHRMP, Ibiúna, SP.....	51
Figura 16. Áreas de pastagem da BHRMP, Ibiúna, SP.....	51
Figura 17. Áreas de reflorestamento da BHRMP, Ibiúna, SP	52
Figura 18. Fragmentos florestais por classes de tamanho da BHRMP, Ibiúna, SP	53
Figura 19. Tendência da relação Perímetro/Área com o tamanho dos fragmentos florestais ..	55
Figura 20. Tendência do IC com o tamanho dos fragmentos florestais.....	58
Figura 21. Efeito antrópico no entorno dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP.....	59
Figura 22. Altitude dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	61
Figura 23. Declividade e classes de relevo dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	62
Figura 24. Orientação do terreno e grau de insolação dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	66
Figura 25. SAVI dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	69
Figura 26. IAF dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP.....	71
Figura 27. Histograma do SAVI.....	72
Figura 28. Histograma do IAF.....	73
Figura 29. Relação entre os valores do SAVI e IAF	74
Figura 30. Fragmentos florestais e pontos de entrada dos fragmentos florestais avaliados em campo da BHRMP, Ibiúna, SP	78

Figura 31. Exemplos dos fragmentos em estágio inicial da BHRMP, Ibiúna, SP.....	80
Figura 32. Intensa presença de bambu no interior do Fragmento 40 da BHRMP, Ibiúna, SP.	81
Figura 33. Exemplos dos fragmentos em estágio médio da BHRMP, Ibiúna, SP.....	82
Figura 34. Exemplos dos fragmentos em estágio avançado da BHRMP, Ibiúna, SP.....	84
Figura 35. Distribuição espacial dos fragmentos florestais avaliados em campo da BHRMP, Ibiúna, SP	85
Figura 36. Mapa dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais segundo o IES da BHRMP, Ibiúna, SP.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de relevo	37
Tabela 2. Classes de orientação do terreno e grau de insolação	38
Tabela 3. Quantitativo das classes de uso e cobertura da terra da BHRMP, Ibiúna, SP	48
Tabela 4. Métricas dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	54
Tabela 5. Pesos atribuídos às classes de uso e cobertura da terra.....	56
Tabela 6. Valores do IC, IEB e IEA dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	57
Tabela 7. Altitude e declividade médias dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP...	63
Tabela 8. Percentual de orientação do terreno e grau de insolação por fragmento florestal da BHRMP, Ibiúna, SP	65
Tabela 9. Valores médios e desvio padrão do SAVI dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	68
Tabela 10. Valores médios e desvio padrão do IAF dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP	70
Tabela 11. Correlação entre os valores do SAVI e IAF.....	74
Tabela 12. Classes numéricas dos parâmetros analisados	75
Tabela 13. Correlação entre as classes dos parâmetros analisados	75
Tabela 14. Fragmentos selecionados para avaliação em campo da BHRMP, Ibiúna, SP	76
Tabela 15. Coordenadas dos pontos de entradas dos fragmentos florestais avaliados em campo da BHRMP, Ibiúna, SP	77
Tabela 16. Intervalo do IES e estágios de sucessão.....	86
Tabela 17. Indicador dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHRMP – Bacia Hidrográfica do Rio Murundú-Paiol
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CX – Cambissolo Háptico
FF – Fragmento Florestal
GM – Gleissolo Melânicos
GPS – Sistema de Posicionamento Global
IAF – Índice de Área Foliar
IC – Índice de Circularidade
IEA – Índice de Exposição Antrópica
IEB – Índice de Efeito de Borda
IES – Indicador do Estágio de Sucessão
IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico
LV – Latossolos Vermelhos
LVA – Latossolos Vermelho-Amarelos
MDT – Modelo Digital de Terreno
NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SR – Sensoriamento Remoto
TIN – Rede Triangular Irregular
UTM – Universal Transversa Mercator

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 MATA ATLÂNTICA.....	16
2.1.1 Fragmentos Florestais.....	17
2.2 SUCESSÃO ECOLÓGICA	18
2.2.1 Estágios de Sucessão	19
2.2.1.1 Parâmetros Qualitativos Indicativos dos Estágios de Sucessão	20
2.2.2 Métodos de Avaliação da Sucessão	22
2.3 GEOPROCESSAMENTO	24
2.3.1 Sistemas de Informações Geográficas.....	25
2.3.2 Sensoriamento Remoto.....	26
3. OBJETIVOS.....	27
3.1 OBJETIVO GERAL.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 ÁREA DE ESTUDO	28
4.2 MATERIAIS	32
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
4.3.1 Elaboração da Base Cartográfica.....	32
4.3.1.1 Compartimentação Morfométrica	33
4.3.2 Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra	34
4.3.2.1 Avaliação das Métricas dos Fragmentos Florestais	35
4.3.2.2 Avaliação do Efeito Antrópico no Entorno dos Fragmentos Florestais	35
4.3.3 Avaliação das Condicionantes Físicas do Terreno	37
4.3.4 Avaliação Espectral dos Fragmentos Florestais	39
4.3.5 Seleção e Avaliação dos Fragmentos Florestais em Campo	41
4.3.6 Construção do Sistema de Avaliação dos Fragmentos Florestais	42
4.4 DIAGRAMA METODOLÓGICO.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 BASE CARTOGRÁFICA.....	44
5.1.1. Compartimentação Morfométrica	45
5.2 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA.....	47
5.2.1. Avaliação das Métricas dos Fragmentos Florestais	52
5.2.2. Avaliação do Efeito Antrópico no Entorno dos Fragmentos Florestais	55
5.3 AVALIAÇÃO DAS CONDICIONANTES FÍSICAS DO TERRENO.....	60
5.4 AVALIAÇÃO ESPECTRAL DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS	67
5.5 SELEÇÃO E AVALIAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS EM CAMPO.....	75
5.6 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE SUCESSÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS	86
6. CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS.....	91

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas produtivas e urbanizadas, a oscilação de temperatura, a preocupação com os recursos hídricos, a poluição e a exploração exacerbada dos recursos naturais são questões recorrentes nas discussões relacionadas ao meio ambiente, como também o intenso processo de supressão da vegetação (SANTOS, 2004; CHOAT *et al.*, 2012; LOURENÇO *et al.*, 2014).

A cobertura vegetal é considerada um recurso fundamental para a conservação do meio ambiente, especialmente dos recursos hídricos, pois atua na redistribuição da chuva, na recarga dos aquíferos, na formação de massas atmosféricas úmidas, na percolação e armazenamento de água no solo, na redução da erosão e da eutrofização dos rios (BOTELHO, 2005; TUNDISI, 2006; ÁVILA *et al.*, 2014). Além disso, a vegetação é essencial para a manutenção da beleza cênica, estabilidade geológica, biodiversidade e proporcionar o bem-estar às populações (BRASIL, 2012).

Estudos têm indicado que as alterações sofridas pela cobertura vegetal implicam nos processos físico-químicos ambientais e na qualidade de vida das populações, reforçando a necessidade de pesquisas que indiquem cenários futuros para o manejo e mudanças no uso e cobertura da terra e das florestas (BALESTRINI *et al.*, 2011; KENNEL; HUBBART; IKEM, 2015; SOUSA, 2018).

Em nível mundial, as taxas de perdas na cobertura vegetal têm sido alarmantes. Em 2016, a perda de áreas florestais no mundo atingiu 29,7 milhões de hectares, apresentando um aumento de 51% em um ano (FORESTRY COMMISSION, 2015; GFW, 2017). O Brasil possui 58% do seu território coberto por florestas naturais (56,8%) e florestas plantadas (1,2%) (SNIF, 2017). As florestas naturais do Brasil totalizam 485.801.973 hectares e são categorizadas em 6 biomas, segundo a tipologia vegetal presente em cada região, sendo eles: Amazônia, com 70,4%; Caatinga, 8,35%; Cerrado, 14,25%; Mata Atlântica, 4,5%; Pampa, 0,7%; e o Pantanal, com 1,8% de áreas de florestas (SNIF, 2016).

A avaliação da vegetação é de fundamental importância para a proposição de medidas de conservação e recuperação de áreas degradadas, além de preservação, o que torna relevante a realização de pesquisas sobre os ecossistemas florestais. Dentre as diferentes aplicações, a avaliação dos estágios de sucessão da vegetação de mata atlântica mostra-se necessária para a compreensão do estado de intervenção, conservação e recuperação de áreas degradadas, além de subsidiar inventários florestais, estudos da dinâmica de biomassa, carbono e estabelecimento de áreas prioritárias para conservação.

Os estágios de sucessão dos fragmentos florestais podem ser avaliados por diferentes procedimentos e variáveis. Entretanto, vale ressaltar que pesquisas dessa natureza requerem bastante tempo e esforços de trabalhos em campo, além de elevados custos e pessoal qualificado para sua avaliação. Apesar do surgimento de pesquisas que propõem métodos alternativos, utilizando técnicas de geoprocessamento e o sensoriamento remoto, para a avaliação dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais, observa-se a necessidade de incorporar novos métodos para a identificação dos estágios, visando aprimorá-los e reduzir os custos de levantamento de dados em campo.

Diante do exposto, esta pesquisa buscou, a partir da utilização de geotecnologias e modelagem matemática ambiental, estudar os fragmentos florestais visando identificar os estágios de sucessão do domínio Mata Atlântica para que possa ser uma alternativa científica, que se mostre eficaz e que contribua no planejamento e gestão ambiental dos recursos florestais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mata Atlântica

A Mata Atlântica é considerada um dos mais ricos ecossistemas do mundo. Está presente em 17 estados brasileiros e compõe as Florestas Ombrófila (Densa, Aberta e Mista), Florestas Estacional (Decidual e Semidecidual) e agrega os ecossistemas de Mangues, Restingas e Campos de Altitude (MMA, 2010; MCT, 2017). Esse bioma é considerado um dos 25 *hotspots* de biodiversidade do planeta, apresenta muitas espécies endêmicas e está em constante ameaça devido ao histórico de alterações antrópicas, o que resulta em perda de habitat e fragmentação da paisagem (MYERS *et al.*, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2011).

No Brasil, as elevadas intervenções antropogênicas resultam na perda de floresta do bioma Mata Atlântica. Nos anos de 2015 e 2016, as taxas de desflorestamento corresponderam a 29.075 hectares. Comparando-se com os anos de 2014 e 2015, houve um aumento de 57,7% nessa taxa. Isto corrobora para que apenas 12% da sua área original apresente-se intacta, o que condiz com o fato de ser um dos biomas mais ameaçados de extinção no mundo (RIBEIRO *et al.*, 2009; MCT; 2015; MCT, 2017).

O Estado de São Paulo possuía cerca de 80% do seu território originalmente ocupado por Mata Atlântica, porém, atualmente, há aproximadamente de 2 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 14% de fragmentos dispersos. Estes se encontram presentes

principalmente em unidades de conservação e em pequenos fragmentos circundados por áreas de agricultura e de ocupação urbana (MMA, 2010; LOURENÇO *et al.*, 2014; MCT, 2017).

2.1.1 Fragmentos Florestais

Os Fragmentos Florestais são áreas de vegetação natural, interrompidas por barreiras antrópicas ou naturais. As barreiras antrópicas são as alterações provocadas pelo homem, devido principalmente à implantação de estruturas para transporte e transmissão de energia, atividades agrícolas, queimadas, supressão da floresta para pastagens e reflorestamentos, turismo e as áreas urbanizadas; enquanto as barreiras naturais tratam-se, por exemplo, dos processos hidrogeológicos, fatores climáticos, heterogeneidade de solo e topografia do terreno (VIANA, 1990; VIANA *et al.*, 1992; MMA, 2003).

A floresta fragmentada é submetida à grandes modificações, principalmente devido à redução de sua área, modificando a composição das espécies de fauna e flora, a estrutura, a sua dinâmica florestal, além de afetar diretamente a conservação da biodiversidade e apresentando condições ambientais diferentes no seu entorno (VIANA, 1990; VIANA; PINEHRIO, 1998).

A dinâmica dos fragmentos florestais pode ser afetada por diversos fatores como o seu tamanho, a forma, o grau de isolamento ou de proximidade, o tipo de vizinhança, a posição do relevo e exposição solar. O conhecimento e análise destes fatores são de extrema importância para identificar e apontar estratégias de conservação ou recuperação do meio (VIANA *et al.*, 1992; OLIVEIRA *et al.*, 1997; MORAES *et al.*, 2012).

O tamanho dos fragmentos está relacionado à sua área e a constante pressão antrópica com a capacidade do fragmento de se autossustentar. Diversos autores têm reforçado a hipótese de que os pequenos fragmentos florestais não são autossustentáveis devido a sua maior exposição aos efeitos de borda e diferentes formas de degradação, ocasionando a extinção de espécies e mudanças de luminosidade, ventos, temperatura e umidade, além de deixar o fragmento susceptível à invasão de espécies exóticas (VIANA, 1990; VIANA; PINHEIRO, 1998; SANTOS *et al.*, 2017).

Com relação à geometria do fragmento, estes são comparados às características de um círculo, apresentando formas arredondadas ou alongadas, com maior tendência de serem alongados devido ao acompanhamento dos cursos d'água. Este é um parâmetro útil para análise da vulnerabilidade do fragmento. Os fragmentos arredondados, geralmente possuem

um maior grau de conservação devido a menor interferência antrópica no seu interior (VIANA *et al.*, 1992; VIANA; PINHEIRO, 1998; MORAES *et al.*, 2012).

O grau de isolamento ou conectividade afeta no fluxo gênico da fauna e da flora entre os fragmentos. Quanto mais próximos estão os fragmentos, melhor apresenta-se a dinâmica da troca gênica, contribuindo com a sustentabilidade de populações naturais (VIANA; PINHEIRO, 1998; MORAES *et al.*, 2012; JESUS *et al.*, 2015).

O tipo de vizinhança está diretamente relacionado à fragmentação do ambiente e ao efeito de borda. Este fator contribui com o comprometimento dos sistemas biológicos e do equilíbrio do ecossistema devido aos diversos distúrbios que podem ser ocasionados, tais como a mortalidade de árvores, modificação da luminosidade e exposição aos ventos (NASCIMENTO *et al.*, 2006; RODRIGUES; NASCIMENTO, 2006; SILVA *et al.*, 2016).

Quanto à posição do relevo, esta característica confere a direção em que o terreno se encontra, sendo este, um fator que influencia no tipo de vegetação devido aos padrões de precipitação, exposição solar e do vento (ERCANOGLU; GOKCEOGLU, 2002; MAGESH *et al.*, 2013). Corrêa e Francelino (2015), afirmam que a análise da orientação do terreno de uma determinada área constitui-se em um instrumento eficaz para avaliar o grau de insolação e correlacionar com o nível de umidade que a área está exposta.

2.2 Sucessão Ecológica

A sucessão ecológica é um termo utilizado para descrever o processo de alteração que ocorre na vegetação. Os estágios de sucessão correspondem a um processo estocástico, com ênfase na observação de distúrbios frequentes e com a variação continuada da vegetação em diferentes escalas, tanto espacial quanto temporal (FINEGAN, 1984; GLENN-LEWIN; MAAREL, 1992; RIBEIRO *et al.*, 2010). Para Odum (2004) é um procedimento direcional e previsível do desenvolvimento da comunidade, resultante da modificação do ambiente físico, determinando a máxima estabilidade no ecossistema, na energia e na biomassa disponível.

As condições locais e as interações entre as espécies são os principais fatores responsáveis pela dinâmica da sucessão ecológica. O conhecimento sobre as características desta dinâmica é essencial para a recuperação de áreas degradadas e para recomposição de áreas de preservação (ARAÚJO, *et al.* 2006; RICKLEFS, 2010).

Inicialmente, as espécies que colonizaram um local são chamadas de pioneiras. A sucessão ecológica pode ser definida como primária ou secundária, sendo que a sucessão vegetal resulta em florestas secundárias, subdivididas em estágios de sucessão. Estes estágios

apresentam alterações em sua estrutura e em sua composição, promovendo uma sequência de alterações estruturais e funcionais em sua biodiversidade, para que haja uma adequação ou uma recomposição do ecossistema até que promova um equilíbrio com o meio (CORLETT, 1994; LOUMAN *et al.*, 2001; IAP, 2017).

2.2.1 Estágios de Sucessão

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) descreve alguns parâmetros para caracterizar os estágios de sucessão da vegetação, sendo distintos para cada estado, devido às características e condições locais. Para o estado de São Paulo, a Resolução CONAMA nº 1, de 31 de janeiro de 1994, define os estágios de sucessão, a fim de nortear os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa (CONAMA, 1994).

A vegetação é considerada primária, ou também conhecida como clímax, quando há máxima expressão local, com grande diversidade biológica e com mínimos efeitos das ações antrópicas. Já as consideradas secundárias, são aquelas resultantes de processos naturais, supressão da floresta primária para utilização em pastagens ou agriculturas e posterior abandono, ou florestas descaracterizadas devido à exploração ou causas naturais. A vegetação secundária, é classificada em estágios de regeneração/sucessão inicial, médio e avançadas (CONAMA, 1994; MMA, 2010).

O estágio inicial de regeneração surge logo após o abandono de uma área, criando condições para o aparecimento de novas espécies. Este estágio geralmente dura de seis a dez anos dependendo do grau de degradação e apresentam grandes quantidades de vegetação rasteira, arbustos e poucas espécies de arvoretas. O estágio médio inicia-se quando a vegetação já está formada, habitualmente após seis anos de regeneração, durando até quinze anos e apresenta um aumento em sua diversidade biológica. Por fim, o estágio avançado inicia-se normalmente após quinze anos de regeneração, apresentando o aparecimento de comunidades mais complexas e a diversidade biológica é aumentada gradualmente (CONAMA, 1994; MMA, 2010; IAP, 2017).

A Resolução CONAMA 01/94, em seu artigo 2º, apresenta características qualitativas da vegetação secundária de acordo com o seu estágio de regeneração. Estas características estão relacionadas à fisionomia, aos estratos, a presença de epífitas e trepadeiras, às condições de serapilheira, sub-bosques e diversidade biológica.

2.2.1.1 Parâmetros Qualitativos Indicativos dos Estágios de Sucessão

a) Fisionomia florestal

A fisionomia florestal é caracterizada pelo agrupamento da vegetação, formando o dossel, onde sua densidade varia de acordo com o estado de conservação, independente da identificação das espécies vegetais (COUTINHO, 2006; LOUSÃ *et al.*, 2007).

No estágio inicial de regeneração, a fisionomia florestal apresenta características que variam de savânica a florestal baixa, podendo ocorrer estratos herbáceos e pequenas árvores. No estágio médio apresentam árvores de diferentes tamanhos, enquanto no avançado caracteriza-se por ser mais fechada, com distribuição contígua de copas, podendo o dossel apresentar ou não árvores emergentes (CONAMA, 1994).

b) Estratos florestais

Os estratos florestais estão relacionados às camadas de várias alturas, sendo influenciadas pela quantidade de luz e seu estágio de regeneração natural. As espécies de florestas primárias são tolerantes à sombra de forma limitada. No processo de regeneração, as espécies mais jovens dependem da abertura de clareiras para sua maturação, pois no sub-bosque a mortalidade de plântulas é alta (RICHARD, 1952; SCHORN; GALVÃO, 2006; SEUBERT *et al.*, 2017).

No estágio inicial, os estratos tendem a ser lenhosos variando de abertos a fechados, apresentando plantas com alturas variáveis. No médio ocorre a presença de camadas de vegetação de diferentes alturas, variando de aberta a fechada, podendo a superfície da camada superior ser uniforme e apresentar árvores emergentes, enquanto que no estágio avançado ocorrem grande número de estratos, com árvores, arbustos, ervas terrícolas, trepadeiras e epífitas e as copas superiores geralmente são horizontalmente amplas (CONAMA, 1994).

c) Plantas epífitas

As epífitas são plantas que não dependem do solo das florestas durante o seu ciclo de vida. Estas necessitam do apoio de árvores hospedeiras sem retirar os seus nutrientes, pois estes são adquiridos diretamente da umidade atmosférica e podem refletir o grau de preservação local (BENNETT, 1986; NADKARNI, 1994; BATAGHIN *et al.*, 2010).

No estágio inicial de regeneração, as epífitas, quando presentes, são pouco abundantes, representadas por musgos, líquens, polipodiáceas, e tilândsias pequenas. No estágio médio aparecem em maior número de indivíduos e espécies, sendo representadas por líquens, musgos, hepáticas, orquídeas, bromélias, cactáceas e piperáceas, enquanto no estágio

avançado apresentam-se em grande número de espécies e com grande abundância (CONAMA, 1994).

d) Trepadeiras

As trepadeiras podem ser herbáceas ou lenhosas e se desenvolvem entrelaçando-se em espécies arbóreas e contribuem positivamente no desenvolvimento de espécies regenerantes. Quando herbáceas, seu tamanho é reduzido e se distribui em áreas mais abertas, em clareiras e nas bordas dos fragmentos florestais. No entanto, quando lenhosas, geralmente apresentam caules mais grossos e mais desenvolvidos, podendo atingir o dossel do fragmento e se entrelaçar em várias árvores (GENTRY, 1991; ENGEL; OLIVEIRA, 1998; SILVA *et al.*, 2016).

No estágio inicial, as trepadeiras, quando presentes, podem ser herbáceas ou lenhosas. No médio, geralmente são lenhosas, já no avançado são mais abundantes e ricas em espécies (CONAMA, 1994).

e) Serapilheira

A serapilheira é formada por matéria orgânica de origem animal e vegetal, tais como, as folhas, os galhos, os ramos e os restos animais depositados sobre o solo e em diferentes fases de decomposição (BARBOSA; FARIA, 2006). Essa matéria orgânica depositada sobre o solo é a principal via de transferência de nutrientes ao solo, tornando-se um fator chave à manutenção de sistemas florestais (FACELLI; PICKETT 1991; SELLE, 2007; SPIG *et al.*, 2009).

No estágio inicial, quando presentes, apresentam uma camada fina e pouco decomposta. No estágio médio, podem apresentar variações de espessura e no estágio avançado a serapilheira está sempre presente, apresentando uma camada mais espessa e em intensa decomposição (CONAMA, 1994).

f) Sub-bosque

Os sub-bosques compreendem em um conjunto de vegetação arbustiva e subarbustiva que crescem abaixo do dossel de uma floresta. Formam um nicho ecológico de fundamental importância para o desenvolvimento e estabelecimento de espécies que irão constituir os demais estratos da floresta, além de contribuir com a cobertura do solo e nas interações biológicas com os indivíduos arbóreos (LIMA FILHO *et al.*, 2002; OLIVEIRA; AMARAL, 2005; COELHO *et al.*, 2011).

No estágio inicial podem ocorrer plantas jovens de espécies arbóreas dos estágios mais maduros. No estágio médio é comum a ocorrência de arbustos umbrófilos principalmente de espécies de rubiáceas, mirtáceas, melastomáceas e meliáceas, enquanto nos estágios

avançados os sub-bosques apresentam estratos arbustivos e herbáceos com maior ou menor frequência (CONAMA, 1994).

g) Diversidade biológica

A diversidade biológica corresponde a variabilidade de todos os organismos vivos, sejam estes pertencentes aos ecossistemas terrestres ou aquáticos. Essa definição ainda compreende a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas. Ou seja, refere-se a toda variabilidade de organismos vivos, independente dos seus diferentes níveis e ambientes nos quais estão inseridos (BRASIL, 2000).

No estágio inicial, a diversidade biológica é baixa, podendo-se encontrar até dez espécies arbóreas ou arbustivas dominantes. No estágio médio, a diversidade é significativa, podendo ser evidente a dominância de algumas espécies, geralmente de rápido crescimento. Já no estágio avançado, a diversidade biológica é muito grande devido à complexidade estrutural e ao número de espécies (CONAMA, 1994).

A resolução CONAMA 01/94, ressalta em seu artigo 3º que os parâmetros apresentados acima podem variar de uma região para outra, devido às condições de relevo, clima, solo, histórico de uso da terra, da vegetação do entorno, da localização geográfica, da área e da configuração da formação analisada (CONAMA, 1994).

2.2.2 Métodos de Avaliação da Sucessão

Originalmente, a avaliação dos estágios de sucessão da vegetação era realizada a partir do acompanhamento da regeneração de uma área, assim como Saldarriaga *et al.* (1988) e Uhl *et al.* (1988) que avaliaram a composição das espécies, estrutura e biomassa segundo a idade da vegetação. Os autores observaram o crescimento do número de espécies durante a sucessão entre os estágios e o aumento da estrutura e da biomassa, estimadas a partir de coletas de campo e avaliações em laboratório, entre o período inicial e avançado de sucessão. Entretanto, a avaliação dessa maneira requer muitos anos de observações em campo e avaliações laboratoriais (SALDARRIAGA *et al.*, 1988; UHL *et al.*, 1988).

Diversos estudos utilizam os parâmetros descritos na resolução CONAMA, distinguida por Estado, com o propósito de caracterizar os estágios de sucessão, porém, a resolução não apresenta uma regra para a amostragem da vegetação. Os métodos tradicionais de avaliação dos estágios em campo apresentam dificuldades em sua execução, pois demandam de elevados custos, requerem bastante tempo, esforços de trabalhos em campo e pessoal qualificado para a avaliação, podendo ser subjetivos caso não se apresente um padrão

na avaliação (NAVE, 1999; AMARAL *et al.*, 2009). Frente a essas dificuldades encontradas na avaliação dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais, pesquisas estão surgindo com o intuito de elaborar métodos alternativos que sejam eficientes na identificação dos estágios.

Fonseca e Fonseca (2004) utilizaram métodos estatísticos multivariados, a partir da análise de componentes estabelecidos como principais, e por classificação hierárquica ascendente, através das variáveis estruturais, levantando informações fitossociológicas, porcentagem de cobertura, altura do dossel e cobertura por lianas. Os autores concluíram que os métodos estatísticos multivariados permitiram identificar o estágio do fragmento, porém afirmam que o método deve ser aprimorado, incluindo outras variáveis que caracterizem melhor cada estágio (FONSECA; FONSECA, 2004).

Cintra (2007) aferiu em campo duas áreas em diferentes estágios com o intuito de definir padrões espectrais de cor e textura, em imagens de satélite, das áreas visitadas. Esses padrões foram definidos utilizando uma composição colorida (RGB) e uma banda referente ao infravermelho de imagens do satélite IKONOS. Após a definição de amostras dos padrões espectrais, avaliou os estágios de sucessão dos fragmentos florestais a partir da interpretação visual da imagem, porém essa interpretação visual ainda gerou confusão na definição de alguns estágios, devido a heterogeneidade de textura.

Amaral *et al.* (2009) utilizaram técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para classificar os estágios de fragmentos florestais a partir de métodos de classificação visual, por pixel e por regiões de imagens de satélites. Os melhores resultados obtidos pelos autores foram as classificações visuais e por regiões, porém obtiveram baixa exatidão na classificação dos estágios, sendo possível diferenciar apenas o estágio inicial de sucessão, dos estágios médio e avançado, devido à semelhança espectral entre os alvos.

Lana *et al.* (2010) estudaram características fitofisionômicas da vegetação a partir de levantamentos de campo. Neste estudo foram adotados os parâmetros quantitativos e análises ecológicas em trabalhos em campo. Para a análise ecológica foram adotados diagramas ilustrados, representativos dos estágios, que segundo os autores foram considerados úteis, podendo ser utilizados em representações na diferenciação das fitofisionomias dos estágios de sucessão de Mata Atlântica, facilitando a interpretação da legislação.

Costa *et al.* (2011) correlacionaram padrões avaliados em campo com dados digitais das bandas do visível e do infravermelho próximo do satélite IKONOS. Os autores concluíram que essa correlação não foi aceitável para a identificação do estágio de sucessão do fragmento, indicando a necessidade do desenvolvimento de novos estudos, considerando

diferentes configurações entre as bandas, como na composição dos índices de vegetação obtidos através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Souza, Cruz e Vicens (2014) realizaram a avaliação em campo priorizando a descrição ecológica de parâmetros qualitativos, a partir de caminhamentos no seu interior, a fim de identificar os diferentes estágios dos fragmentos florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. Os autores avaliaram a curva de refletância de uma imagem hiperespectral dos locais avaliados em campo, com o intuito de encontrar um padrão espectral para as classes. Neste estudo, os autores encontraram uma tendência de aproximação das curvas em diferentes estágios de sucessão principalmente devido às características do relevo, o que dificultou avaliar os estágios por meio das curvas espectrais.

2.3 Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de técnicas relacionadas a coleta, ao armazenamento, ao tratamento e a análise de informações espaciais, que permite o desenvolvimento constante de novos sistemas e aplicações que auxiliam em tomadas de decisões. Este conjunto de técnicas, também chamado de Geotecnologias, engloba a topografia, a geodesia, a fotogrametria, a cartografia, o banco de dados geográficos, os Sistemas de Posicionamento Global (GPS), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR) (ROSA; BRITO, 1996; CÂMARA; DAVIS, 2001; XAVIER DA SILVA, 2001).

A utilização destas técnicas é composta, basicamente, por *hardware* (a máquina), *software* (o programa) e por recursos humanos que os manuseiam e são os responsáveis por manipular os dados, além de definir as metodologias adequadas. Estes três elementos em conjunto, constituem em poderosas ferramentas de análise, diagnóstico, planejamento estratégico e gestão de recursos de maneira efetiva a tomada de decisões (CÂMARA; DAVIS, 2001; ROSA, 2005; CAMPOS *et al.*, 2015).

O geoprocessamento permite a representação de dados basicamente em cinco tipos, sendo eles: dados temáticos, dados cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno e imagens. Os dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma determinada área georreferenciada, expressa de forma qualitativa, como os mapas de uso e cobertura da terra, de pedologia, de declividade e de capacidade de uso da terra; os dados cadastrais estão relacionados aos atributos dos dados (armazenados em um sistema gerenciador de banco de dados), que podem estar associado a diversas representações gráficas; os dados de rede, são

representados em dados vetoriais associados às informações de rede de drenagem, malha viária e serviços de utilidades públicas (como as redes/linhas de transmissão de energia e de água); os modelos numéricos de terreno, são modelos matemáticos capazes de representar uma superfície real a partir de dados quantitativos, como os dados de altimetria para gerar mapas topográficos e apresentações tridimensionais; e, por fim, as imagens, que são obtidas por meio de sensores, acoplados em aeronaves ou satélites, representando dados de forma matricial (BURROUGH, 1986; CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

No aspecto tecnológico, o uso do SIG e do SR tem auxiliado no desenvolvimento de pesquisas com enfoque na avaliação dos recursos naturais. O SIG permite a construção de um ambiente de gerenciamento de arquivos georreferenciados, e o SR através da correlação entre bandas espectrais, permite o monitoramento da vegetação com base nas especificidades de reflectância (AHAMED *et al.*, 2011; JAMALI *et al.*, 2014; LOPES; REUSS-STRENZEL, 2015).

2.3.1 Sistemas de Informações Geográficas

Os SIGs são ferramentas computacionais que viabilizam o geoprocessamento, por meio de técnicas matemáticas e computacionais para tratar informações geográficas, que permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes (CÂMARA; DAVIS, 2001; ROSA, 2005). Burrough (1986) descreve o SIG como um “conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real”.

Existe uma série de aplicações como a avaliação de impactos ambientais, os estudos sobre uso e ocupação da terra, o monitoramento de queimadas, o monitoramento de enchentes e inundações, as avaliações de vegetação e fragmentos florestais e modelagens ambientais (CARDOZO *et al.*, 2014; LOURENÇO *et al.*, 2014; AMORIM; MONTANHER, 2017; SOUSA *et al.*, 2017; LOPES *et al.*, 2018). Diante as inúmeras aplicações, os SIG podem controlar não apenas os fenômenos ou as atividades, mas também onde estes acontecem ou existem. Sempre que a localização espacial estiver dentre as questões a serem resolvidas, a adoção de um SIG é essencial (CÂMARA; DAVIS, 2001; LONGLEY *et al.*, 2013).

Os SIGs permitem uma variedade de análises ambientais, complexas ou não, devido a sua variabilidade de aplicações e processamentos disponíveis. Ao integrar grandes quantidades de dados e informações georreferenciadas, estas podem ser processadas e combinadas, permitindo-se extrair as informações em forma de mapas, tabelas e gráficos. A

partir dessa extração de informações, torna-se possível a análise e tomada de decisões sobre o espaço geográfico em estudo (ROSA, 2005; LEITE; ROSA, 2006).

2.3.2 Sensoriamento Remoto

O SR é uma tecnologia que permite a obtenção de informações sobre objetos sem que haja contato físico entre eles. Essa obtenção é realizada a partir de sensores, acoplados em aeronaves ou satélites, que são capazes de coletar a energia eletromagnética do alvo, convertê-la em sinais possíveis de serem registrados e transmiti-las de maneira adequada à extração dos dados. A partir da obtenção destes registros, torna-se possível estudar o ambiente terrestre por meio de várias aplicações (NOVO, 1992).

No SR, o sol é a principal fonte de energia eletromagnética. A radiação solar controla todos os processos físico, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. Esta radiação eletromagnética pode ser absorvida, refletida, transmitida e/ou emitida por determinados objetos que compõem a superfície, como o solo, a vegetação, a hidrografia e as edificações (NOVO, 1992; MOREIRA, 2003; ROSA, 2009).

Para o sensoriamento remoto, o estudo da atmosfera terrestre como um todo é fundamental, porque constitui um meio natural que interfere tanto na radiação incidente (irradiância) quanto na parte da radiação que é refletida (radiância) pelos alvos da superfície que, eventualmente, será coletada pelos sistemas sensores. Em geral, essa interferência se manifesta na trajetória (fenômenos de refração, difração), e na velocidade de absorção (total ou parcial) da radiação em determinadas faixas do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2003, p. 27).

As variáveis espectrais de SR podem ser apresentadas de diversas formas, sendo que a mais simples é a reflectância de uma banda. Existem diversos parâmetros que influenciam na reflectância dos alvos, como é o caso da matéria orgânica, umidade, temperatura, material de origem, formação da crosta terrestre, propriedades físicas e químicas do alvo, fatores morfológicos e fisiológicos (WIEGAND *et al.*, 1991; MOREIRA, 2003; ROSA, 2009).

Outra maneira de se apresentar as variáveis espectrais é a partir do agrupamento de bandas de maneira específica. Este agrupamento pode ser realizado para obtenção de composição colorida (falsa ou verdadeira) das imagens ou até mesmo para se gerar índices específicos, como é o caso dos índices de vegetação. Esses índices são muito utilizados em estudos relacionados à cobertura vegetal devido ao realce das componentes espectrais da vegetação, relacionados aos parâmetros biofísicos, de biomassa, vigor e densidade vegetativa (EPIPHIANO; FORMAGGIO, 1991; WIEGAND *et al.*, 1991; BOLFE, 2010).

Tecnologicamente, a aplicação do SR como ferramenta de análise ambiental, mostra-se relevante para o monitoramento da cobertura da superfície terrestre. Estas aplicações favorecem a obtenção de informações para o planejamento e gestão ambiental, tanto de bacias hidrográficas, quanto de áreas de grande relevância (BRAZ *et al.*, 2015; LOPES *et al.*, 2016).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Estudar fragmentos florestais de Mata Atlântica, priorizando o conhecimento dos estágios de sucessão com o intuito de propor um método de avaliação desses estágios visando contribuir com o planejamento e a gestão ambiental para a preservação e conservação dos recursos florestais.

3.2 Objetivos Específicos

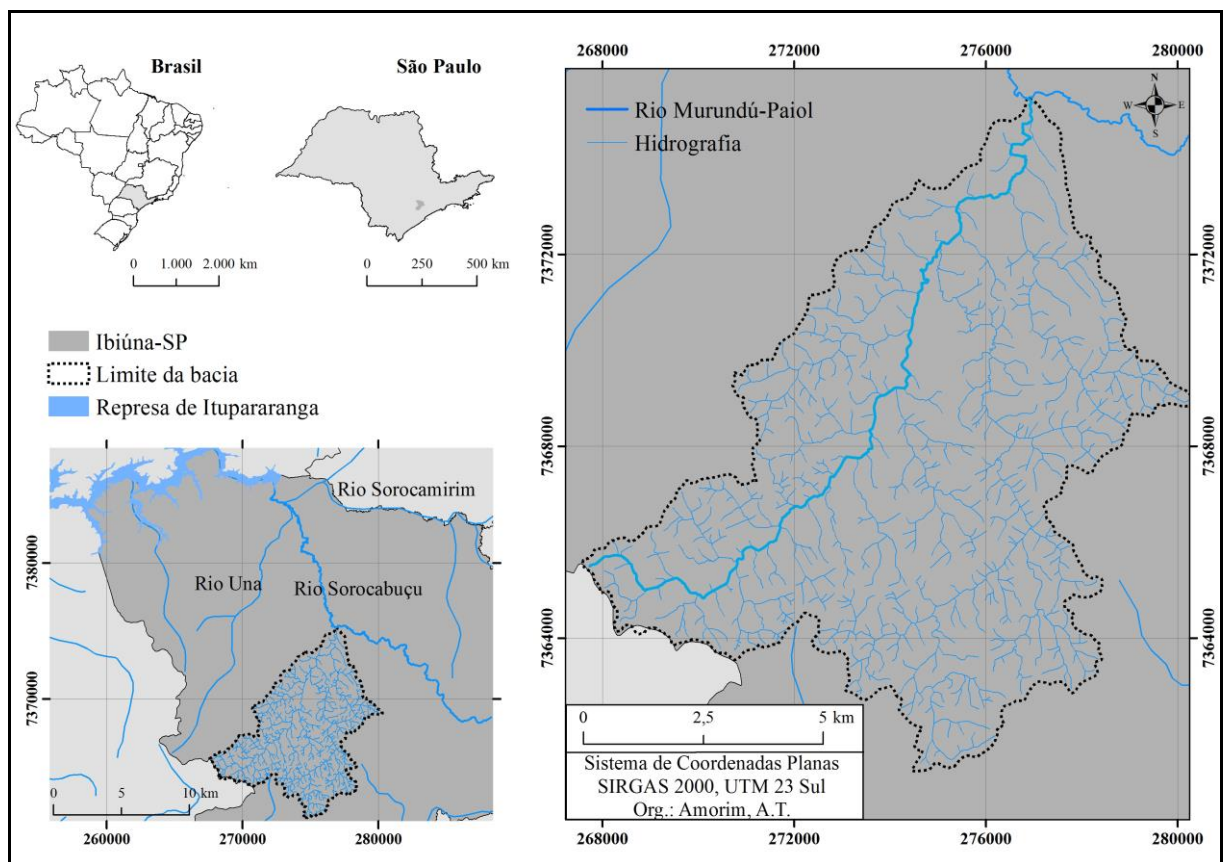
- Mapear os usos e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Murundú-Paiol visando analisar as métricas dos fragmentos florestais e identificar a pressão antrópica do seu entorno;
- Mapear as condicionantes do terreno relacionadas as métricas físicas de altitude, declividade e orientação das vertentes no quais os fragmentos florestais estão inseridos;
- Avaliar espacialmente as características espectrais dos fragmentos florestais utilizando índices de vegetação;
- Avaliar em campo os fragmentos florestais selecionados, considerando os parâmetros qualitativos, a partir de um levantamento ecológico;
- Integrar os resultados obtidos em um sistema de avaliação capaz de produzir um indicador que reflita as condições do desenvolvimento dos fragmentos florestais e que possa ser aplicado em outras áreas de Mata Atlântica.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A presente pesquisa foi realizada na Bacia Hidrográfica do Rio Murundú-Paiol (BHRMP), localizada no município de Ibiúna, região metropolitana de Sorocaba, sudeste do Brasil. Esta área pertence à Décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10) (IPT, 2008) (Figura 1).

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Murundú-Paiol, Ibiúna, SP



A BHRMP ocupa uma área territorial de aproximadamente 81,91 km², correspondendo a aproximadamente 7,7% do município de Ibiúna. Está inserida na Área de Preservação Ambiental de Itapararanga (APA Itapararanga), sendo esta uma região de grande importância ambiental.

O Rio Murundú-Paiol, recebe grandes contribuições do Ribeirão do Paiol Grande e desagua no Rio Sorocabuçu. O Rio Sorocabuçu nasce no município de Ibiúna, é o responsável pelo abastecimento de água do município e, juntamente com o Rio Sorocamirim formam o Rio Sorocaba, sendo este o principal corpo hídrico formador da represa de Itapararanga que é

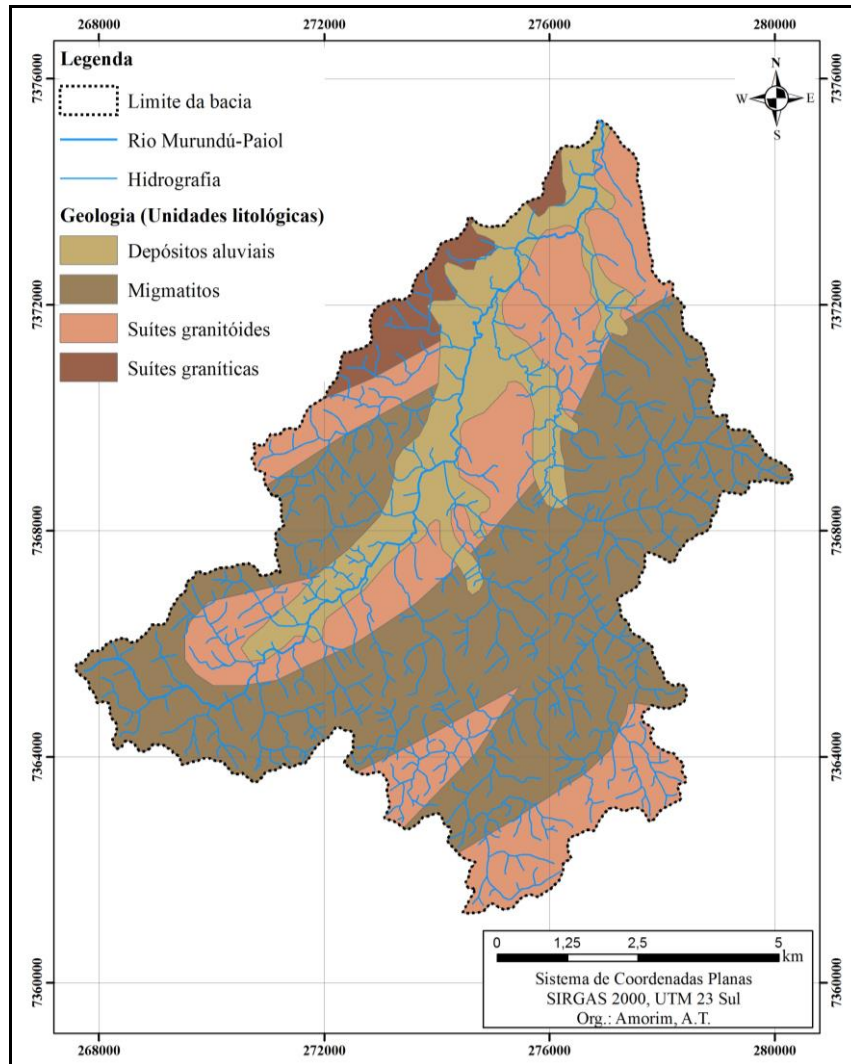
de grande importância para a região, tanto para o abastecimento de água, quanto para a geração de energia elétrica (CBH, 2012; IBGE, 2017).

Dubreuil *et al.* (2017), propuseram um novo esboço regional dos climas brasileiros. Estes, realizaram estudos com dados de temperatura e precipitação de 1961 a 2015, afim de obter os tipos climáticos anuais do Brasil a partir da classificação de Köppen, proposta em 1900. Segundo os referidos autores, a região em que a bacia está inserida possui classificação climática Cwa de 50 à 80%, caracterizado pelo clima subtropical de inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C e média de precipitação de 47,5mm, e verão úmido com temperaturas superiores a 22°C e média de precipitação de 196,0mm (CEPAGRI, 2017; CIIAGRO, 2017).

A bacia hidrográfica em estudo está inserida na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, que é subdividido em serras e planaltos cristalinos, estando situada sob a unidade Planalto de Paranapiacaba em toda sua área territorial (IBGE, 2006; VERVLOET; ROSS, 2012). Nesta área de Ibiúna o Planalto de Paranapiacaba é caracterizado por apresentar uma dissecação homogênea apresentando diversos tipos de padrões de drenagem, entretanto, os padrões predominantes são os dendrítico, subparalelo, sub-retangular e outros compostos, em que os canais não obedecem a uma direção preferencial (IBGE, 2006; 2009).

A geologia (Figura 2) é caracterizada pelas unidades litológicas do tipo depósitos aluviais, migmatitos, suítes granitóides e suítes graníticas (CPRM, 2006). Os depósitos aluviais estão presentes em 15,5% da área, originados geralmente de um único tipo de rocha, formado devido ao transporte de material arrastado pelas correntes de água e caracterizado por apresentar depósitos como areias, argilas e conglomerados na base; os migmatitos estão presentes em 53,1% da área da BHRMP e são caracterizados por serem rochas formadas por fusão parcial de outras rochas metamórficas, como xistos, camadas gnáissicas e veios de granito; as suítes granitóides estão presentes em 27,9% da área, compostas principalmente por feldspato e quartzo, apresentando corpos granitóides foliados, com textura porfiróide frequente e tonalidade granítica; e as suítes graníticas apresentam-se em 3,5% da área, também são compostas principalmente por feldspato e quartzo, caracterizadas por apresentar textura de sub-hipidiomórfica a hipidiomórfica granular (CPRM, 2006).

Figura 2. Unidades litológicas da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Adaptado de CPRM, 2006.

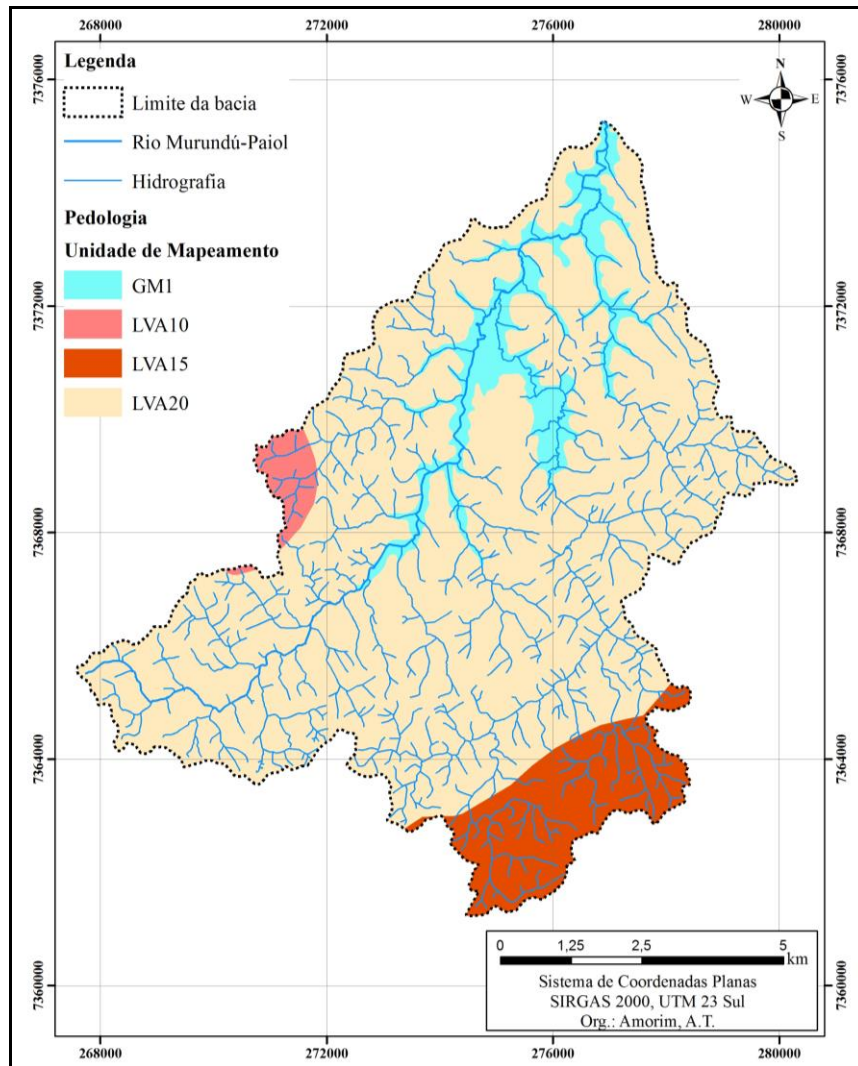
Os solos da área da BHRMP são predominantemente do tipo Gleissolo Melânicos (GM1) e Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) (Figura 3). Os LVA possuem propriedades físicas características de boa à moderada permeabilidade e capacidade de retenção de água, tornando esses solos aptos para a agricultura (IAC, 2014).

O GM1 apresenta uma associação de organossolo, com textura indiscriminada, e Cambissolo Háplico (CX), com textura média e argilosa, pouco profundos e presentes em relevo plano, predominantemente no entorno de rios (EMBRAPA, 2006; ROSSI, 2017).

Os LVA diferenciam-se pela textura, profundidade e relevo, sendo o LVA10, uma associação de LVA e CX, com textura média ou argilosa, pedregoso ou não, pouco ou muito profundo e relevo ondulado e fortemente ondulado; o LVA15 apresenta uma associação de LVA e Latossolo Vermelho (LV), com textura argilosa, e CX com textura muito argilosa, pouco ou muito profundo e relevo forte ondulado; e o LVA20 encontra-se em maior

proporção na área em estudo, apresenta uma associação de LVA e LV, com textura argilosa, profundo e está presente em relevo ondulado e fortemente ondulado (EMBRAPA, 2006; ROSSI, 2017).

Figura 3. Pedologia da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Adaptado de ROSSI, 2017.

A BHRMP está inserida no domínio do bioma Mata Atlântica, sendo marcada pela formação Floresta Ombrófila Densa do tipo Montana. Devido à presença de uma ocupação diversificada com atividades agrícolas, reflorestamento, áreas urbanizadas e parcelamentos de terras, houve intenso processo de modificação das áreas de mata, o que resultou na formação de um mosaico que compõe diferentes estágios de sucessão dos fragmentos florestais (VELOSO *et al.*, 1991; IGBE, 2004; VIDAL *et al.*, 2007).

4.2 Materiais

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se:

- Cartas topográficas do município de Ibiúna em escala 1:10.000, fornecidas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1979);
- Ortoimagens do Sensor Vexcel Ultracam, com período de referência de junho de 2010 e resolução espacial de 0,45 metros, disponibilizado pelo IGC;
- Imagens do Satélite *RapidEye*, com período de referência de agosto de 2014 e resolução espacial de 5 metros, disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA);
- *Software* de geoprocessamento e processamento de dados e imagens ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016);
- *Software* Microsoft Excel 2013 (MICROSOFT, 2013);
- Equipamentos de campo (GPS, caderneta de campo, binóculos, máquina fotográfica).

4.3 Procedimentos metodológicos

4.3.1 Elaboração da Base Cartográfica

A base cartográfica foi composta a partir da vetorização, no *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), dos dados planimétricos (hidrografia e malha viária) e altimétricos (curvas de nível e pontos cotados) das cartas topográficas do município de Ibiúna na escala de 1:10.000, digitalizadas, do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). A primeira edição dessas cartas ocorreu em 1979, com projeção UTM (*Universal Transversa Mercator*), referência horizontal Córrego Alegre/MG, referência vertical Marégrafo de Imbituba/SC, meridiano central de 45° e fuso 23, sul (IGC, 1979).

A Figura 4 apresenta a articulação das nove cartas topográficas utilizadas, referentes ao município de Ibiúna.

Figura 4. Articulação das cartas topográficas utilizadas

	SF-23-Y-C-V-2-SO-E 96/96 A	SF-23-Y-C-V-2-SO-F 96/97 B
SF-23-Y-C-V-3-NE-B 97/95 C	SF-23-Y-C-V-4-NO-A 97/96 D	SF-23-Y-C-V-4-NO-B 97/97 E
SF-23-Y-C-V-3-NE-D 98/95 F	SF-23-Y-C-V-4-NO-C 98/96 G	SF-23-Y-C-V-4-NO-D 98/97 H
	SF-23-Y-C-V-4-NO-E 99/96 I	

Fonte: Autoria própria.

Legenda: A) Bairro do Cupim; B) Bairro Sorocabuçu; C) Bairro do Lajeado; D) Bairro do Piaí; E) Bairro Boava; F) Bairro Itaguapeva; G) Bairro Murundú; H) Sítio Paiol Velho; I) Ribeirão das Vargens.

A base cartográfica vetorizada foi georreferenciada para o novo sistema geodésico usual para as Américas, SIRGAS 2000. Esta vetorização dos dados planimétricos e altimétricos, possibilitou inicialmente a delimitação da BHRMP, a partir do perfil hipsométrico em torno dos rios principais e seus afluentes. Posteriormente contribuiu com o auxílio em trabalhos de campo e geração de produtos cartográficos, como o modelo digital de terreno (MDT), declividade e orientação do terreno.

Os vetores referentes a malha viária e a hidrografia foram retificados a partir de ortomagens do sensor Vexcel Ultracam, com resolução espacial de 0,45 metros e em incursões em campo.

4.3.1.1 Compartimentação Morfométrica

A compartimentação morfométrica da bacia foi obtida a partir da construção do MDT, derivado das curvas de nível e pontos cotados da base cartográfica, submetidos à geração do TIN (*Triangulated Irregular Network* - Rede Triangular Irregular) e da sua conversão em arquivo matricial.

Para realização desta etapa foi extraído o perfil topográfico longitudinal referente ao eixo principal da bacia (definido como aquele que possui sua nascente no ponto mais alto da

bacia hidrográfica) no *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016). Posteriormente, para a delimitação do recorte do perfil topográfico foi feita a compartimentação morfométrica da bacia em três níveis de altitude (Baixo, Médio e Alto), utilizando-se como critérios o perfil altimétrico, a quantidade média de área dentro do perfil e a ocorrência de confluências na área da bacia hidrográfica.

Essa compartimentação em setores baixo, médio e alto, teve por objetivo avaliar a distribuição espacial dos usos e cobertura da terra, bem como avaliar a situação e a qualidade dos fragmentos florestais.

4.3.2 Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi realizado a partir da sobreposição do arquivo vetorial, do limite da bacia, sobre o mosaico de ortoimagens do sensor Vexcel Ultracam, com resolução espacial de 0,45 metros, período de referência de junho de 2010, disponibilizado pelo IGC e composta em uma composição verdadeira, pelas bandas espectrais Infravermelho, Vermelho e Verde nos canais RGB, respectivamente.

Este mapeamento foi procedido por interpretação visual da imagem, no *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), em escala 1:5.000. O mapeamento por interpretação visual requer a habilidade de observação, identificação e interpretação dos objetos ou fenômenos na imagem. Essa interpretação baseia-se na identificação das feições levando em consideração os elementos de interpretação visual de imagens, tais como: a localização, o tom e a cor, a forma, o tamanho, a textura, o padrão, a sombra, a altura e a profundidade, bem como a situação e a associação dos mesmos (PHILIPSON, 1997; MCGLONE, 2004; JENSEN, 2009; PANIZZA; FONSECA, 2011).

As classes de uso e cobertura da terra foram definidas conforme adaptação do Manual Técnico de Uso da Terra e do Manual Técnico da Vegetação Brasileira, sendo elas: matas, reflorestamento, lâmina d'água, cultura temporária, cultura permanente, pastagem, campo e áreas urbanizadas (IBGE, 2012; IBGE, 2013).

O mapeamento foi confirmado e retificado, quando necessário, a partir do *Google Earth Pro*, que permite a observação de imagens atuais na área da bacia, e de observações em trabalhos de campo. Em campo utilizou-se um GPS, uma caderneta para anotações e uma câmera digital para posterior comparação das feições identificadas no mapeamento. Desta forma, foi possível obter o mapeamento temático do uso e cobertura da terra da área de estudo utilizado em etapas posteriores desta pesquisa.

4.3.2.1 Avaliação das Métricas dos Fragmentos Florestais

Para a presente pesquisa, foram estudados os fragmentos florestais com área a partir de 5 hectares (ha). Os fragmentos florestais foram extraídos do mapeamento do uso e cobertura da terra e classificados quanto à sua área em pequeno, médio e grande, segundo uma adaptação das classes definidas por Santos *et al.* (2017), sendo: os fragmentos pequenos com áreas entre 5 e 10 ha, os médios entre 10 e 50 ha e os grandes com áreas acima de 50 ha.

Para a avaliação das métricas de cada fragmento, utilizou-se a extensão *Patch Analyst* associada ao *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016) e ao Microsoft Excel 2013 (MICROSOFT, 2013). Nesta etapa foram avaliadas as métricas de área, perímetro e a relação perímetro/área dos fragmentos florestais, a fim de agrupá-los em classes de tamanho e avaliá-los quanto à sua tendência de comportamento.

4.3.2.2 Avaliação do Efeito Antrópico no Entorno dos Fragmentos Florestais

Para a avaliação do efeito antrópico no entorno dos fragmentos florestais foi aplicada a metodologia proposta por Lourenço, Silva e Sales (2014), que elaboraram um Indicador de Exposição Antrópica (IEA). Este indicador analisa as relações entre o Índice de Circularidade (IC) e o Índice de Efeito de Bordas (IEB) e reflete os níveis de exposição dos fragmentos florestais sob a ação antrópica. A realização destas etapas procedeu-se no *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016).

O IC foi calculado a partir da análise da forma geométrica de cada um dos fragmentos florestais remanescentes, considerando as características de circularidade e extensão dos fragmentos (VIANA; PINHEIRO, 1998). Este índice foi calculado conforme a Equação 1.

$$IC = \frac{2 \times \sqrt{\pi A}}{P} \quad [1]$$

Onde: A – área do fragmento; e

P – perímetro do fragmento.

Os valores de IC variam em um intervalo de 0 a 1. Segundo Viana e Pinheiro (1998), os valores que se aproximam de 1, indicam que o fragmento tem maior tendência ao formato circular e quando estes valores se tornam menores, tendem a um formato mais alongado. Os fragmentos com tendências mais alongadas são mais susceptíveis aos efeitos de borda, que

são prejudiciais para a conservação das florestas remanescentes (VIANA; PINHEIRO, 1998). Os referidos autores indicam que os valores de IC menores que 0,6 são considerados muito alongados, valores iguais ou maiores que 0,6 a 0,8 são alongados e os iguais ou superiores a 0,8 são considerados fragmentos arredondados.

O IEB determina o nível de fragilidade que os fragmentos florestais estão expostos. Cada fragmento foi analisado quanto ao efeito de borda provocado pela vizinhança direta, considerando a superfície de contato do uso vizinho, proveniente do mapeamento do uso e cobertura da terra. Os valores do IEB variam entre 0 e 1, onde os valores mais próximos de zero apresentam menor pressão aos efeitos antrópicos e os valores mais próximos de 1, apresentam maiores implicações aos efeitos antrópicos (LOURENÇO; SILVA; SALES, 2014). Este índice foi calculado conforme a Equação 2.

$$IEB = \sum_{i=1}^n \frac{U_i \times P_i}{P} \quad [2]$$

Onde: U_i – peso atribuído ao tipo de uso e cobertura da terra;

P_i – perímetro de divisa do uso vizinho com o fragmento; e

P – perímetro total do fragmento.

Foram atribuídos diferentes pesos de acordo com o nível de intervenção, considerando o grau de importância e de prejuízo aos fragmentos florestais, sendo 0 quanto menor o dano e 1 quanto maior o dano (LOURENÇO; SILVA; SALES, 2014). A definição dos pesos atribuídos ao uso e cobertura da terra foi realizada mediante a consulta a especialistas da área de biologia, geografia, engenharias ambiental e florestal e tecnologia em silvicultura, do laboratório de geoprocessamento da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba.

O IEA trata-se de uma média ponderada dos valores do IC e do IEB, onde é atribuído peso 1 para o IC e peso 2 para o IEB. Assim como os outros dois índices avaliados, o IEA também possui uma variação entre 0 e 1, onde o 1 apresenta o pior cenário e o 0 apresenta o melhor cenário de exposição aos efeitos das atividades antrópicas sobre os fragmentos florestais remanescentes (LOURENÇO; SILVA; SALES, 2014). Este índice foi calculado conforme a Equação 3.

$$IEA = \frac{(1 - IC) + (2 \times IEB)}{3} \quad [3]$$

Onde: IC – Índice de circularidade; e

IEB – Índice de efeito de borda.

Quanto ao IEB e IEA, Lourenço *et al.* (2014) e Sales *et al.* (2017) apresentam que valores menores que 0,4 são considerados fragmentos com baixa pressão antrópica e baixo efeito antrópico respectivamente, valores iguais ou maiores que 0,4 a 0,7 apresentam média pressão antrópica e médio efeito antrópico, respectivamente, e os valores iguais ou superiores a 0,7 apresentam alta pressão antrópica e alto efeito antrópico respectivamente.

4.3.3 Avaliação das Condicionantes Físicas do Terreno

Nesta esta etapa foram avaliadas a altitude, a declividade e a orientação do terreno na área da BHRMP e, posteriormente, os fragmentos florestais foram correlacionados com estas variáveis. Estes parâmetros foram considerados por apresentarem significativas influências na manutenção dos fragmentos florestais, contribuindo diretamente na regeneração natural dos fragmentos (MARQUES *et al.*, 2005; BISPO *et al.*, 2009; SILVEIRA; SILVA, 2010).

As altitudes dos fragmentos florestais foram obtidas a partir do MDT e para o mapeamento da declividade, este modelo foi processado na ferramenta *Slope* do software ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), com o propósito de estimar a proporção entre os desníveis do terreno e suas respectivas distâncias horizontais (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010). A declividade foi organizada em seis intervalos (Tabela 1), conforme a classificação dos tipos de relevo definidos pela Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (EMBRAPA, 2006).

Tabela 1. Classes de relevo

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

Fonte: EMBRAPA (2006).

Para a correlação destes parâmetros com os fragmentos florestais, estes foram extraídos para os fragmentos e processados na ferramenta *Zonal Statistic as Table* do ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), para a obtenção das médias de altitude e de declividade de cada fragmento florestal.

A orientação do terreno trata-se da direção da variação de declividade, definida pela direção transversal às curvas de nível e no sentido descendente, acompanhando o fluxo esperado do escoamento superficial, ou seja, é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente e é expressa em graus (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010; INPE, 2018).

A análise da orientação do terreno permite indicar as áreas mais favoráveis aos processos de regeneração natural de florestas. Este fator permite avaliar o grau de insolação e relacionar com o nível de umidade em que as faces estão expostas (CORRÊA; FRANCELINO, 2015).

Esta etapa foi gerada a partir do processamento do MDT na ferramenta *Aspect* do software ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), distribuída em classes utilizando a reclassificação dos graus de orientação segundo os pontos cardeais e relacionada às classes de grau de insolação (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de orientação do terreno e grau de insolação

Intervalo (graus)	Orientação da declividade	Classes de grau de insolação
-1 a 0	Plano	Médio
> 0 a 45	Exposições a norte	Alto
> 45 a 135	Exposições a leste	Médio/Baixo
> 135 a 225	Exposições a sul	Baixo
> 225 a 315	Exposições a oeste	Médio/Alto
> 315 a 360	Exposições a norte	Alto

No hemisfério sul, a orientação norte recebe maior quantidade de insolação do que as voltadas ao sul. Em consequência disso, as faces voltadas para o sul, que apresentam menor grau de insolação, possuem menor taxa de evapotranspiração e maior taxa de umidade, contribuindo com a manutenção e regeneração de florestas; enquanto as faces voltadas para o norte, apresentam maior grau de insolação e consequente aumento da evapotranspiração e menores taxas de umidade (TONELLO *et al.*, 2006; ARMANI, 2009; LIMA; MARIANO, 2014; CORRÊA; FRANCELINO, 2015).

Com relação às faces voltadas à leste e oeste, tem-se que a face leste recebe maior insolação no período da manhã, e a oeste maior grau de insolação no período da tarde, independente da época do ano (AMORIM, 2017). No período da manhã a umidade do ar encontra-se mais elevada, contribuindo com o maior teor de umidade no solo e

caracterizando-se por apresentar menores temperaturas quando comparado com o período da tarde, em que a umidade do ar já diminuiu, tornando o ambiente mais quente, o que contribui com o aumento da evapotranspiração. Entretanto, as vertentes expostas à leste apresentam melhores condições para a regeneração natural das florestas, quando comparadas com as vertentes voltadas para oeste, assim como diagnosticado por Silveira e Silva (2010), que encontraram um maior grau de regeneração dos fragmentos florestais nas faces voltadas para leste em relação à oeste.

O mapeamento da orientação do terreno gerado foi recortado para os fragmentos florestais e calculado a porcentagem de ocorrências de orientação dentro de cada fragmento, a fim de avaliar o grau de insolação, bem como o seu potencial de regeneração. Os fragmentos florestais com o percentual de ocorrência acima 50% para a face norte foram classificados com alto grau de insolação; para o sul, baixo grau de insolação; para leste, médio/baixo grau de insolação; e para oeste, médio/alto grau de insolação.

Em relação aos fragmentos florestais em que as faces não apresentaram predominância acima de 50% de ocorrência considerando apenas uma orientação, fez-se a soma de porcentagens norte/oeste com média/alta insolação; e soma sul/leste com média/baixa insolação. Os fragmentos possuem uma influência plana do relevo e as somas sul/leste ou norte/oeste, que não ultrapassam 50% de ocorrência, foram considerados com médio grau de insolação.

4.3.4 Avaliação Espectral dos Fragmentos Florestais

Para a avaliação espectral dos fragmentos florestais foram aplicados o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI (*Vegetation Index Adjusted of Soil*) e o Índice de Área Foliar (IAF). Estes índices são capazes de explorar as propriedades espectrais de vegetação e compreendem em medidas radiométricas adimensionais que evidenciam informações a respeito de parâmetros biofísicos da vegetação. A partir destes índices, é possível avaliar parâmetros de biomassa, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, atividade fotossintética, vigor vegetativo e densidade da vegetação, evidenciando parâmetros de crescimento e de desenvolvimento da vegetação, capazes de caracterizar e monitorar os fragmentos florestais (PONZONI, 2001; JENSEN, 2009; VIGANÓ *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2017).

A obtenção destes índices é possível através da interação entre as bandas do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR). Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), na região

do visível, a reflectância diminui com o aumento de camada de folhas; e na região do NIR, a reflectância aumenta com o número de camada de folhas, apresentando acréscimos menores à medida que forem sendo adicionadas novas camadas, não apresentando variações lineares.

Para a aplicação destes índices, foi realizado a álgebra de mapas no *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016) entre as bandas RED e NIR, bandas 3 e 5 respectivamente, do satélite *RapidEye*, referentes a agosto do ano de 2014, (sendo esta, a imagem mais recente disponibilizada para a área de estudo) com resolução espacial de 5 metros.

O SAVI foi criado por Huete (1988), modificando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), com o intuito de corrigir as influências do solo quando a cobertura vegetal é baixa, melhorando a resposta espectral da vegetação. Este índice é calculado a partir da Equação 4 (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{L + NIR + RED} \quad [4]$$

Onde: NIR – banda do sensor referente ao infravermelho próximo;

RED – banda do sensor referente ao vermelho; e

L – fator de ajuste para o substrato do dossel (0 a 1).

Huete (1988) testou e analisou o fator de ajuste (L) considerando diferentes graus de exposição do solo, apresentando os melhores ajustes com L=0,25 para áreas com altas densidades de vegetação, L=0,5 para áreas com médias densidades de vegetação e L=1 para áreas com baixas densidades de vegetação. Para esta pesquisa utilizou-se L=0,5 devido à área apresentar médias densidades de vegetação, além deste, ser o valor mais frequentemente utilizado na literatura (ACCIOLY *et al.*, 2002; BOEGH *et al.*, 2002 PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Os valores do SAVI variam de -1,5 a 1,5 e possuem as mesmas representações do NDVI, indicando quanto maior o seu valor positivo, maior é o vigor vegetativo e a densidade da cobertura vegetal (CRUZ *et al.*, 2011; DEMARCHI *et al.*, 2011; GAMEIRO *et al.*, 2016).

O IAF é a razão entre a área total que compreende a superfície das folhas pela área por ela ocupada. Este é um índice capaz de descrever características estruturais do dossel das plantas e é muito utilizado para avaliar características biofísicas da vegetação, que pode ser observada na imagem por meio da análise dos seus pixels (ALLEN *et al.*, 2002; GALVÍNCIO, 2012).

O IAF foi calculado a partir da Equação 5 (ALLEN *et al.*, 2002).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI'}{0,59}\right)}{0,91} \quad [5]$$

Onde: SAVI' é o SAVI recalculado com os valores de reflectância do topo da atmosfera para as bandas RED e NIR.

Para o cálculo do SAVI' (Equação 7) é necessário a conversão de cada banda (RED e NIR) em valores de reflectância do topo da atmosfera. A reflectância, geralmente é a razão entre a radiância refletida e a radiação recebida. Para a obtenção da reflectância do topo da atmosfera, aplicou-se Equação 6, a qual não considera os efeitos da atmosfera (PLANET, 2016).

$$\rho(i) = (DN(i) \times 0,01) \times \left(\frac{\pi \times SunDist^2}{EAI(i) \times \cos(SolarZenith)} \right) \quad [6]$$

Onde: $\rho(i)$ – reflectância do topo da atmosfera;

$DN(i)$ – números digitais de cada banda;

SunDist – distância Terra-Sol no dia de aquisição da imagem;

$EAI(i)$ – irradiância Exo-Atmosférica (RED: 1560,4 W/m²μm; NIR: 1124,4 W/m²μm); e

SolarZenith – ângulo expresso em graus (90° - ângulo de elevação solar).

$$SAVI' = \frac{(1 + L)(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{L + \rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad [7]$$

Onde: ρ_{NIR} – reflectância do topo da atmosfera da banda do infravermelho próximo;

ρ_{RED} – reflectância do topo da atmosfera da banda do vermelho; e

L – fator de ajuste para o substrato do dossel (0 a 1).

Para a análise destes índices foi aplicado uma estatística descritiva em cada fragmento florestal a partir do recorte do índice para os fragmentos e processamento na ferramenta *Zonal Statistics as Table* do software ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016) para a obtenção das médias e desvio padrão dos índices em cada fragmento florestal.

4.3.5 Seleção e Avaliação dos Fragmentos Florestais em Campo

A seleção dos fragmentos florestais avaliados em campo foi realizada de maneira estratégica para identificar fragmentos em diferentes estágios de sucessão a partir dos diferentes padrões analisados espacialmente. Para isso, inicialmente os parâmetros analisados espacialmente, tais como o tamanho, o IEA, a altitude, o relevo, o grau de insolação e os

índices de vegetação SAVI e IAF, foram classificados em classes numéricas e sequenciais, onde o menor valor representa a pior condição e o maior valor representa a melhor condição do fragmento florestal relacionada à dinâmica e/ou qualidade do mesmo, de acordo com a significância de cada parâmetro. Posteriormente, foi aplicada a correlação de *Pearson* para verificar os parâmetros que melhor se relacionam para averiguar os diferentes padrões de fragmentos florestais, possibilitando assim que os mesmos se encontrem em diferentes estágios de sucessão para que se possa contribuir na definição e valoração dos parâmetros avaliados espacialmente.

Para a seleção foram excluídos os fragmentos que não estavam totalmente inseridos no limite territorial da bacia hidrográfica em estudo e, aqueles que apresentaram características avaliadas espacialmente semelhantes, foram escolhidos para a avaliação em campo de acordo com a viabilidade de acesso, estudada preliminarmente a partir da base cartográfica de apoio.

A avaliação dos fragmentos florestais em campo foi realizada com base na experiência de especialistas e observação dos fragmentos no interior daqueles selecionados. Essas observações foram realizadas considerando o levantamento ecológico (LANA *et al.*, 2010; SOUZA; CRUZ; VICENS, 2014), priorizando a descrição qualitativa dos diversos fatores descritos no tópico 2.2.1.1, que são indicativos dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais.

Esta avaliação em campo foi realizada com o auxílio de GPS, câmera fotográfica, binóculos e caderneta para anotações e contou com a colaboração e experiência de dois geógrafos, uma engenheira florestal, duas engenheiras ambientais e um técnico em silvicultura.

4.3.6 Construção do Sistema de Avaliação dos Fragmentos Florestais

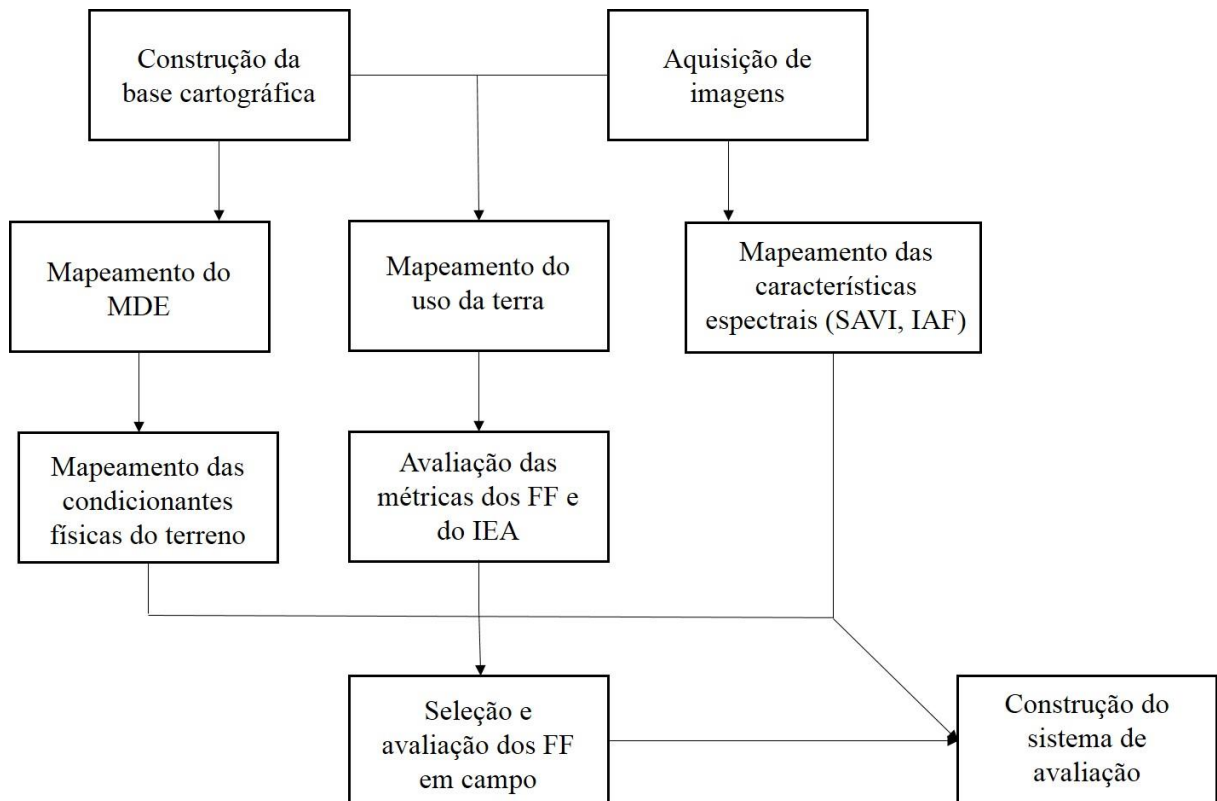
A construção do sistema de avaliação dos fragmentos florestais se baseou nos parâmetros que obtiveram forte correlação entre si, sendo estes parâmetros que influenciam na dinâmica dos fragmentos florestais e os índices de vegetação que são representativos da qualidade e estrutura dos fragmentos florestais, conforme descrito anteriormente. Estes parâmetros, quando correlacionados, permitiram a construção de um Indicador dos Estágios de Sucessão e a partir da avaliação obtida em campo, pôde-se chegar aos intervalos representativos dos estágios inicial, médio e avançado de sucessão dos fragmentos florestais.

O indicador proposto foi processado a partir de álgebra de mapas no *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), que permitiu espacializar e representar os estágios de sucessão dos fragmentos florestais da BHRMP.

4.4 Diagrama Metodológico

A Figura 5 apresenta o diagrama metodológico das etapas que foram desenvolvidas.

Figura 5. Diagrama metodológico



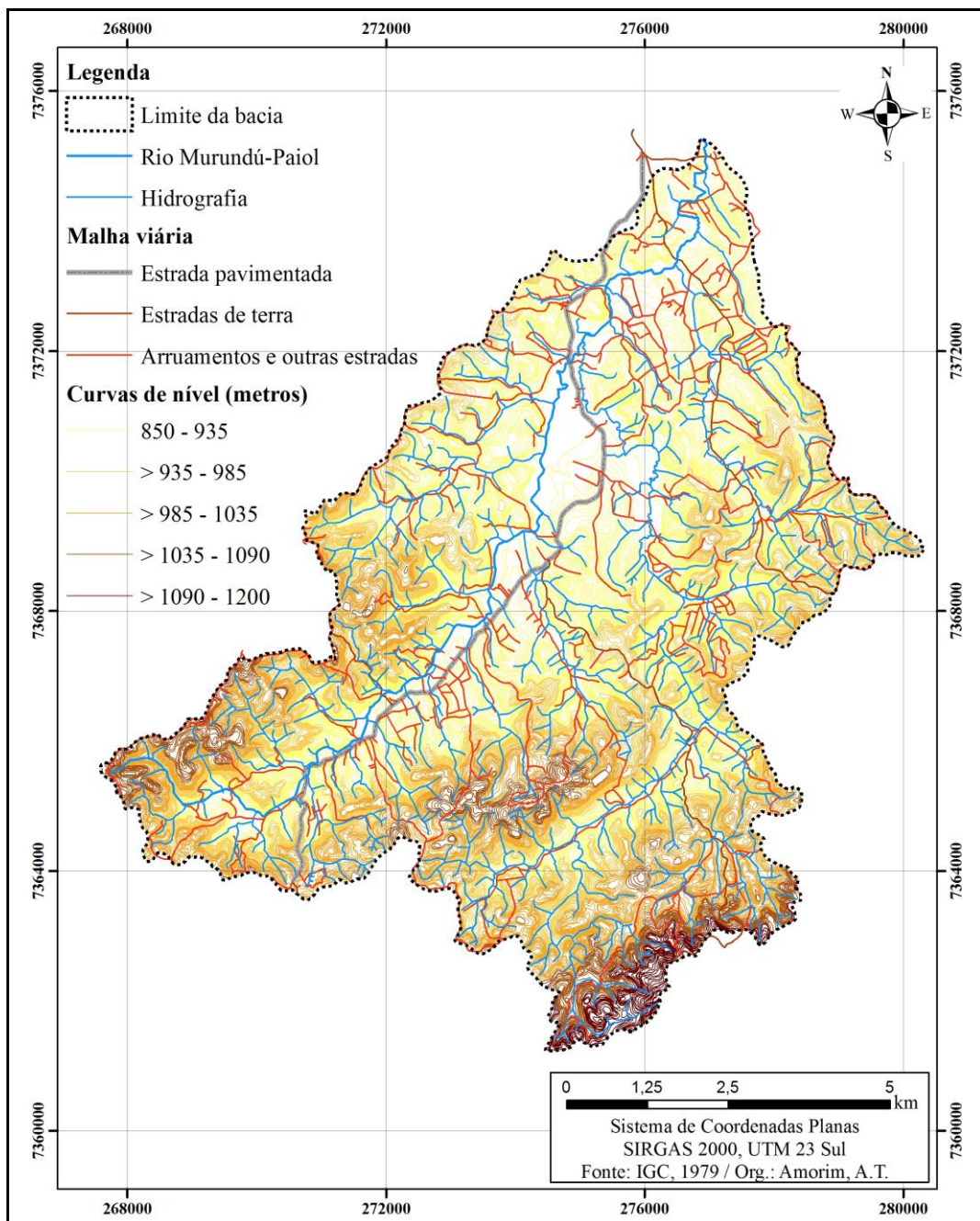
Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Base Cartográfica

O mapa base planialtimétrico elaborado para a BHRMP é apresentado na Figura 6, sendo este utilizado como auxílio para os trabalhos de campo e para a geração dos demais produtos cartográficos.

Figura 6. Mapa base planialtimétrico da BHRMP, Ibiúna, SP

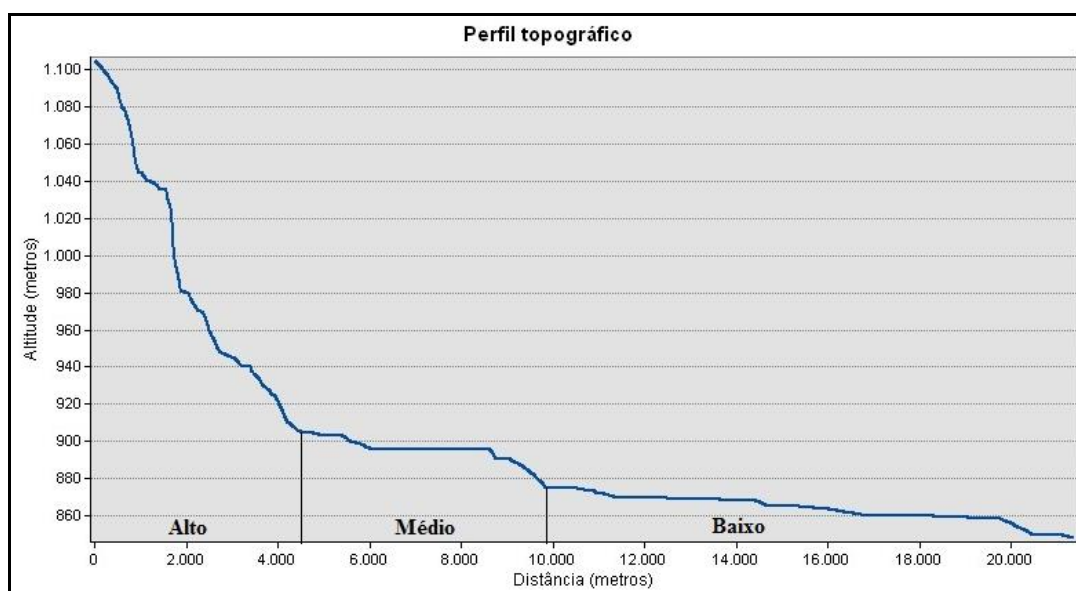


A BHRMP apresenta área de 81,91 km², rede de drenagem com extensão de 287,3 km e as curvas de nível variam de 850 a 1200 metros. A malha viária foi quantificada com 249,6 km de extensão, sendo 14,6 km de estrada pavimentada (estrada vicinal Tancredo Neves), 21,8 km de estradas de terra e 213,2 km de arruamentos e outras estradas.

5.1.1. Compartimentação Morfométrica

A partir da base cartográfica construída foi possível realizar a compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica em três setores referentes à altitude. A Figura 7 apresenta o perfil topográfico do eixo principal da BHRMP.

Figura 7. Perfil topográfico do eixo principal da BHRMP, Ibiúna, SP

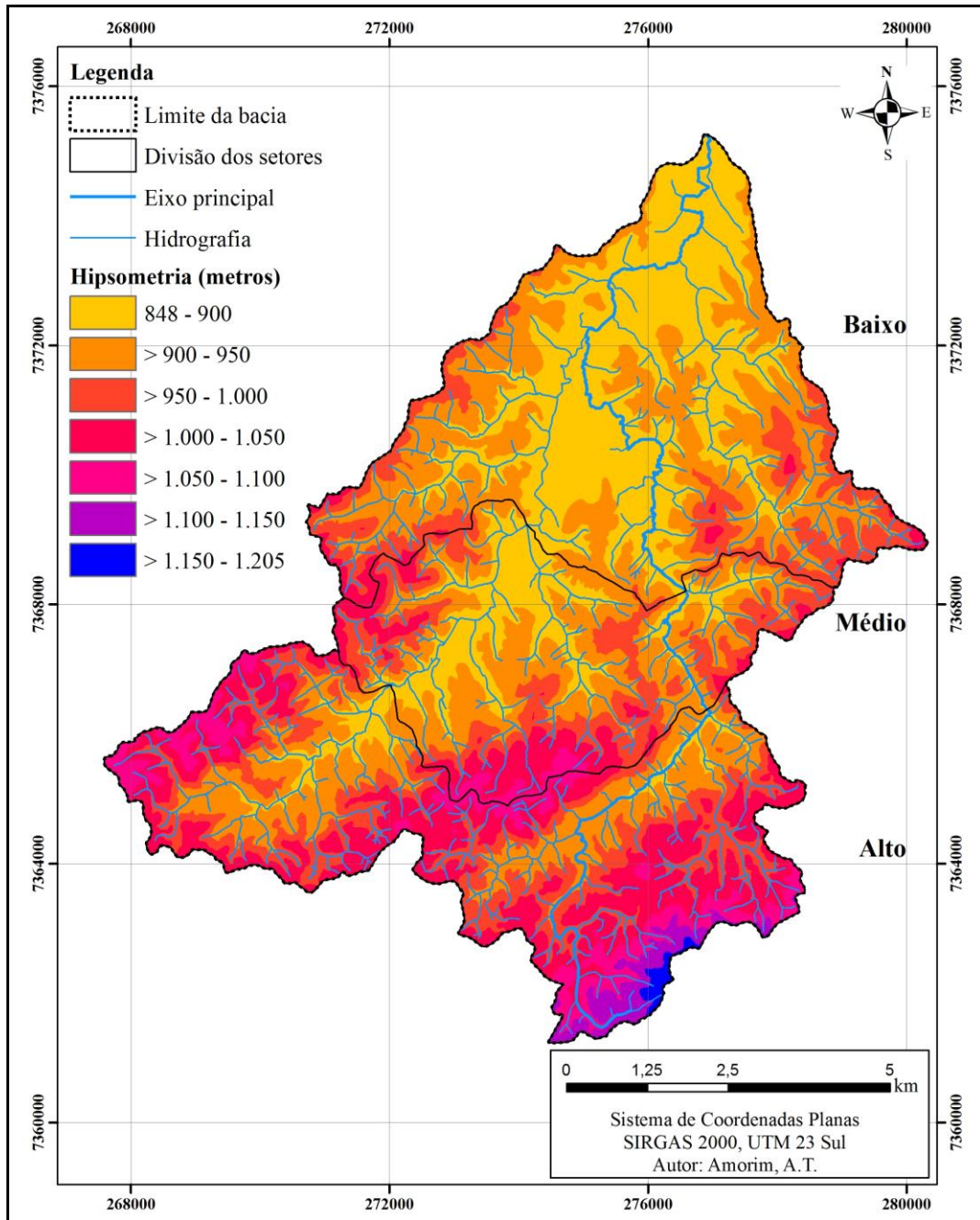


Fonte: Autoria própria.

O eixo principal possui uma extensão de 22,23 km, a variação altimétrica do perfil topográfico do curso principal é de 25 metros de 850 a 875 metros no baixo curso, de 30 metros de 875 a 905 metros no médio curso e de 200 metros para altitude de 905 a 1.105 metros no alto curso.

A hipsometria e a compartimentação dos setores baixo, médio e alto da área de estudo são apresentadas na Figura 8.

Figura 8. Hipsometria e divisão da compartimentação topográfica da BHRMP, Ibiúna, SP

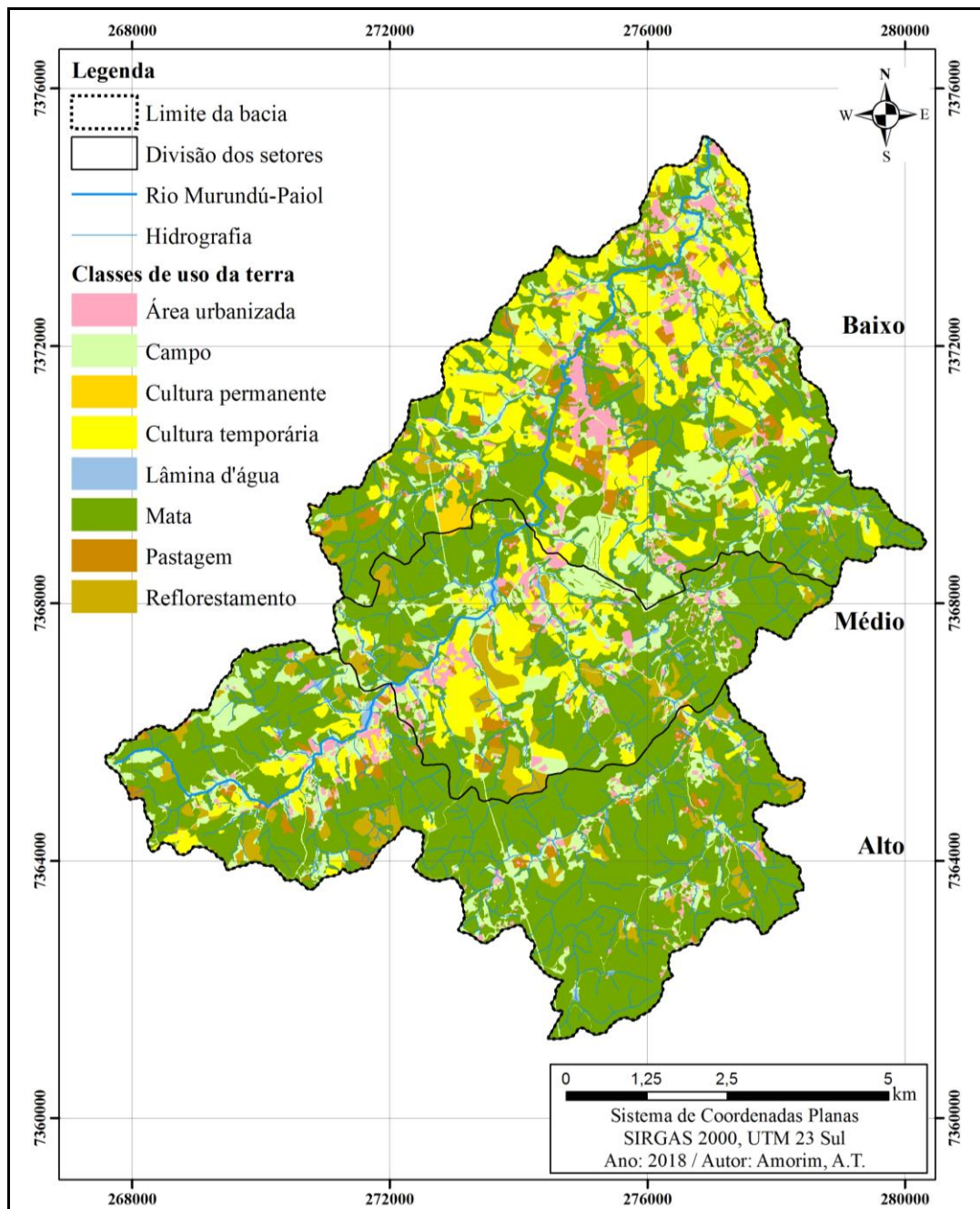


Segundo a compartimentação proposta, o setor baixo ao norte da bacia, possui área de 32,75 km² e altitude média de 905 metros; o setor médio ao centro da bacia, apresenta área de 19,48 km² e altitude média de 940 metros; enquanto o setor alto ao sul da área de estudo, tem 29,68 km² de extensão territorial e altitude média de 991 metros.

5.2 Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da terra da BHRMP foi classificado em oito categorias, sendo elas: áreas urbanizadas, campo, cultura permanente, cultura temporária, lâmina d'água, mata, pastagem e reflorestamento. Este mapeamento é apresentado na Figura 9.

Figura 9. Mapa de uso e cobertura da terra da BHRMP, Ibiúna, SP



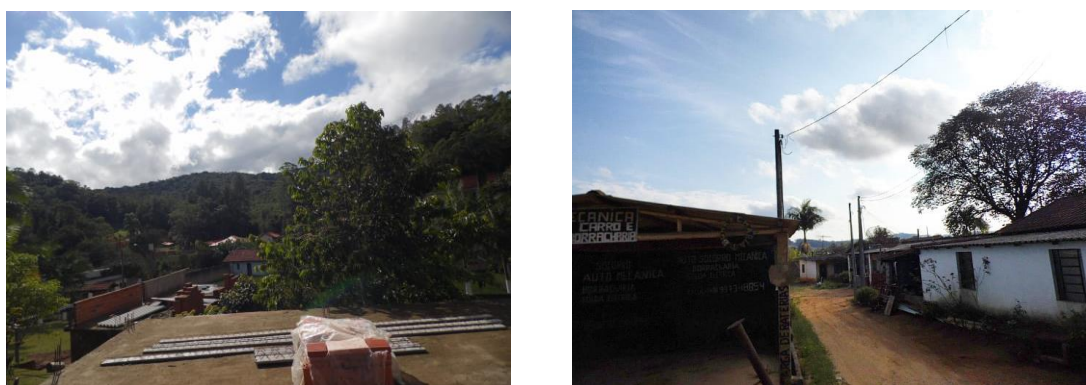
O quantitativo das classes de uso e cobertura da terra (Figura 9) está apresentado na Tabela 3 para toda a área da bacia hidrográfica e para os setores baixo, médio e alto.

Tabela 3. Quantitativo das classes de uso e cobertura da terra da BHRMP, Ibiúna, SP

Classes de uso e cobertura da terra	Bacia		Baixo curso		Médio curso		Alto curso	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Área urbanizada	385,37	4,70	209,47	6,40	94,81	4,87	81,08	2,73
Campo	1.214,32	14,82	518,91	15,84	314,32	16,14	381,08	12,84
Cultura permanente	29,63	0,36	27,92	0,85	1,71	0,09	-	-
Cultura temporária	1.180,35	14,41	798,69	24,39	276,01	14,17	105,65	3,56
Lâmina d'água	79,23	0,97	23,35	0,71	25,21	1,29	30,66	1,03
Mata	4.741,13	57,88	1.488,67	45,45	1.069,47	54,91	2.182,99	73,54
Pastagem	200,39	2,45	116,90	3,57	26,88	1,38	56,61	1,91
Reflorestamento	360,83	4,41	91,42	2,79	139,18	7,15	130,22	4,39
Total	8.191,23	100,00	3.275,34	100,00	1.947,59	100,00	2968,31	100,00

Fonte: Autoria própria.

A classe “Área urbanizada” é representada pelas edificações rurais, residenciais e comerciais. Esta classe apresenta o total de 385,37 ha, correspondendo 4,70% da área da bacia, estando 2,55% no baixo curso, 1,16% no médio curso e 0,98% no alto curso da bacia. A Figura 10 apresenta exemplos desta classe.

Figura 10. Áreas urbanizadas da BHRMP, Ibiúna, SP

Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Campo” representa as áreas de campos degradados, com predomínio de plantas rasteiras do tipo gramíneas e espécies exóticas invasoras como as *Leucaena leucocephala* (leucenas) e *Ricinus communis* (mamonas). Áreas que foram destinadas a aberturas de estradas e linhas de transmissão de energia, que contribuem com a fragmentação

da paisagem, também foram inseridas nessa classe. Apresenta o total de 1.214,32 ha, correspondendo a 14,82% da área da bacia, com 6,33% no baixo curso, 3,34% no médio curso e 4,65% no alto curso da bacia. A Figura 11 apresenta exemplos desta categoria.

Figura 11. Áreas de campo da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Cultura permanente” é representada por cultivos agrícolas com ciclo de vida mais longo tais como plantação de laranja, café e limão, que permanece vinculado ao solo e proporcionam colheitas em determinados períodos do ano. Além dos tradicionais acima citados, foi verificado o cultivo de caqui, que possui origem asiática e seus frutos são colhidos geralmente no período do outono. Ao total foram contabilizados 29,63 ha de cultura permanente, o que corresponde a 0,36% da área da bacia, onde 0,32% estão presentes no baixo curso e 0,02% no médio curso da bacia. A Figura 12 apresenta exemplos desta categoria.

Figura 12. Áreas de cultura permanente da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Cultura temporária” representa os cultivos agrícolas anuais, que são sujeitos ao replantio e manejo do solo após a sua colheita. Na bacia esse tipo de cultura é marcado

pelas olericulturas, sendo as mais comuns de alface, couve e couve flor, apresentando o total de 1.180,35 ha, correspondendo a 14,41% da área da bacia, estando 9,75% no baixo curso, 3,37% no médio curso e 1,29% no alto curso da bacia. A Figura 13 apresenta exemplos desta categoria.

Figura 13. Áreas de culturas temporárias da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Lâmina d’água” é representada pelos rios, lagos, lagoas, açudes e áreas sujeitas a inundações. Esta categoria apresenta um total de 79,23 ha, correspondendo a 0,97% da área da bacia, onde 0,29% encontram-se no baixo curso, 0,31% no médio curso e 0,37% no alto curso da bacia. A Figura 14 apresenta exemplos desta categoria.

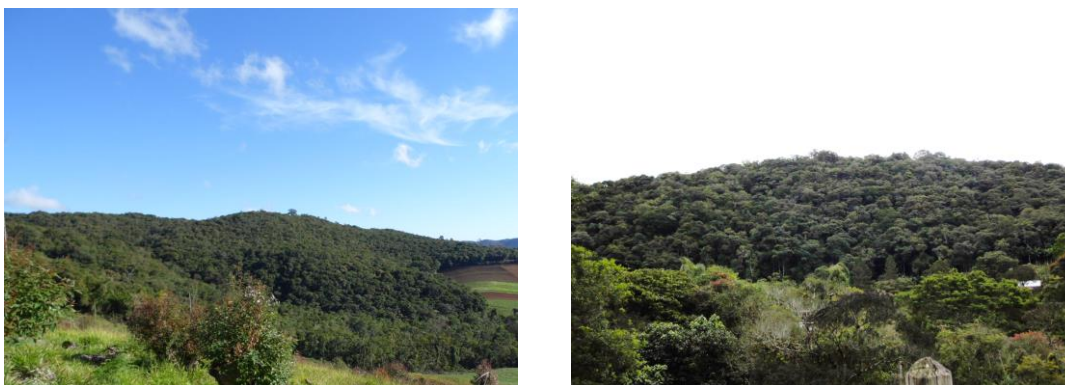
Figura 14. Áreas de lâmina d’água da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Mata” é representada pelas formações arbóreas, incluindo os fragmentos florestais em estágios iniciais, médio e avançados de regeneração. Esta é a categoria que tem maior representação na área da bacia hidrográfica, com o total de 4.741,13 ha, correspondendo a 57,88% da área de estudo, com 18,17% no baixo curso, 13,06% no médio curso e 26,65% no alto curso. A Figura 15 apresenta exemplos desta categoria.

Figura 15. Áreas de matas da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Pastagem” é aquela cujo solo é coberto de gramíneas destinadas ao pastoreio. Foram identificadas áreas de pastagens destinadas a animais de grande e de médio porte, tais como caprinos, ovinos, bovinos e equinos. Esta classe abrange o total de 200,39 ha, correspondendo a 2,45% da área da bacia, sendo que o baixo curso apresenta maior percentual (1,43%) da bacia, o médio curso 0,33% e o alto curso 0,69%. A Figura 16 apresenta exemplos desta categoria.

Figura 16. Áreas de pastagem da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

A classe “Reflorestamento”, em sua grande maioria, é composta de *Eucalyptus* (eucaliptos), que são utilizados para silvicultura, apresentando o total de 360,83 ha, correspondendo a 4,41% da área da bacia, estando 1,12% no baixo curso, 1,70% no médio curso e 1,59% no alto curso da bacia. A Figura 17 apresenta exemplos desta categoria.

Figura 17. Áreas de reflorestamento da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal, maio de 2018.

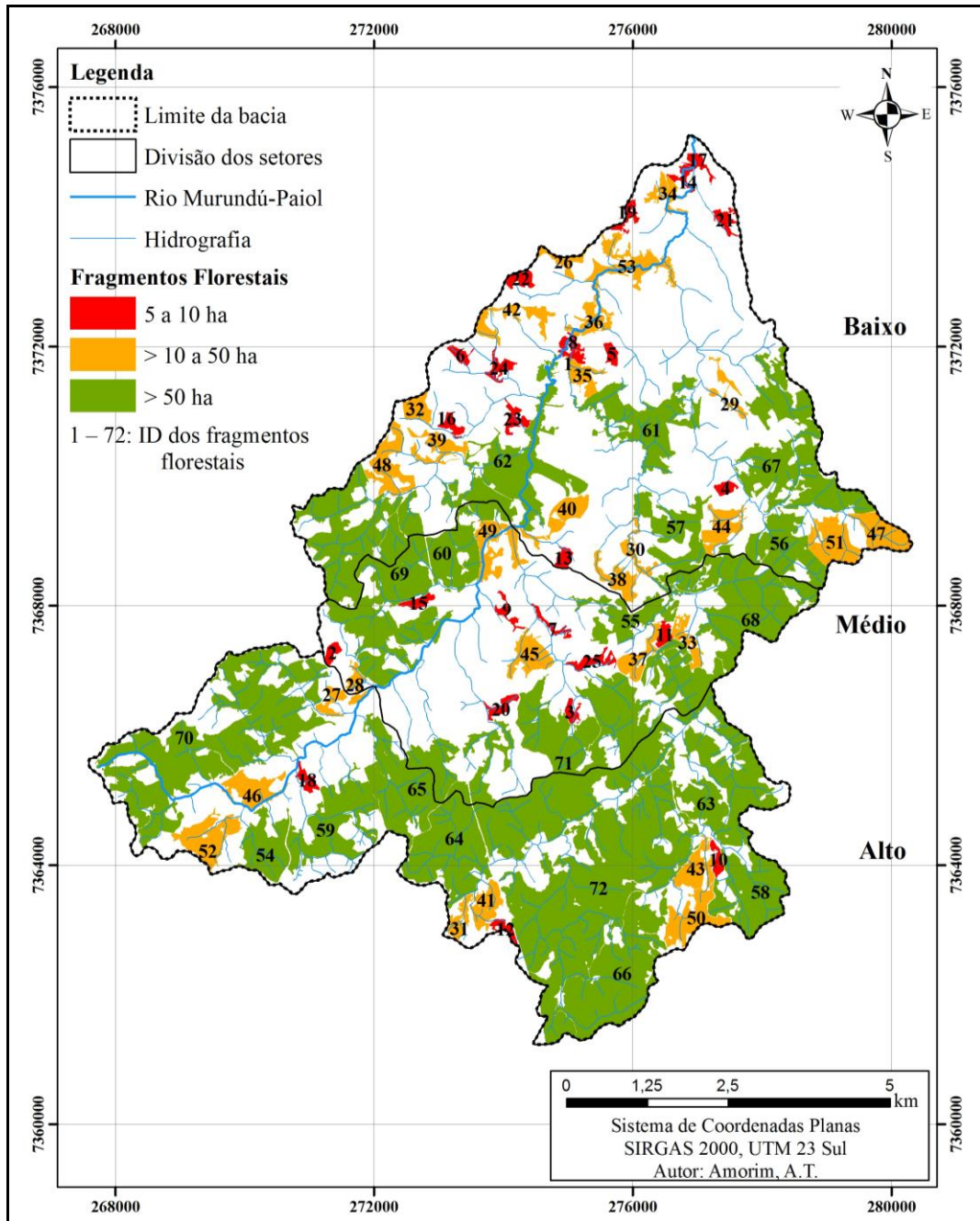
Observa-se que a BHRMP apresenta o total de 57,88% de mata e 41,15% de áreas antrópicas (áreas urbanizadas, campo, culturas permanentes e temporárias, pastagens e reflorestamento). No curso inferior da bacia apresenta o total de 45,45% de matas e 53,84% de áreas antrópicas; no curso médio o total de 54,91% de matas e 43,80% de áreas antrópicas; e por fim no curso alto da bacia apresenta 73,54% de matas e 25,43% de áreas antrópicas.

Essa redução das áreas antrópicas do baixo para o alto curso da bacia, se deve ao aumento da altitude e conseqüente aumento da declividade. Áreas mais elevadas e com declividades mais acentuadas dificultam o acesso da população e proporcionam o aumento de custos para a implantação das atividades antrópicas como as agriculturas e as edificações (ABDALLA; CRUZ, 2015). Deste modo, o desenvolvimento das atividades antrópicas ocorre com maior intensidade nas áreas mais planas, quando se compara com as áreas mais elevadas, que são menos suscetíveis a diversificação da paisagem e, conseqüentemente, com maior conservação dos fragmentos florestais nessas regiões.

5.2.1. Avaliação das Métricas dos Fragmentos Florestais

Na Figura 18 são apresentados os fragmentos florestais da BHRMP, classificados neste trabalho de acordo com as classes de tamanho em pequenos de 5 a 10 ha, médios de 10 a 50 ha e grandes acima de 50 ha.

Figura 18. Fragmentos florestais por classes de tamanho da BHRMP, Ibiúna, SP



Ao todo foram identificados 72 fragmentos florestais, sendo 25 pequenos, 28 médios e 19 grandes. Os fragmentos florestais maiores que 5 ha apresentam área total de 4.275,09 ha, representando 52,19% da área da bacia hidrográfica e 90,17% da classe de matas.

A Tabela 4 apresenta as métricas de área, perímetro e a relação perímetro/área de cada fragmento florestal analisado, estando estes em ordem crescente de tamanho.

Tabela 4. Métricas dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

Tamanho	Id	Área (ha)	Área (km²)	Perímetro (km)	Perímetro/Área	Tamanho	Id	Área (ha)	Área (km²)	Perímetro (km)	Perímetro/Área
P E Q U E N O	1	5,02	0,05	1,62	32,32	M É D I O	37	19,26	0,19	3,79	19,68
	2	5,18	0,05	1,05	20,24		38	19,81	0,20	3,69	18,63
	3	5,36	0,05	1,72	32,13		39	20,24	0,20	5,95	29,37
	4	5,37	0,05	1,11	20,68		40	20,35	0,20	3,01	14,81
	5	5,43	0,05	1,11	20,37		41	21,84	0,22	3,18	14,55
	6	5,49	0,05	1,59	28,90		42	22,76	0,23	6,43	28,23
	7	5,60	0,06	2,62	46,70		43	25,70	0,26	4,37	17,01
	8	5,90	0,06	1,78	30,15		44	26,72	0,27	5,39	20,17
	9	6,03	0,06	2,59	42,91		45	27,10	0,27	3,89	14,35
	10	6,11	0,06	1,55	25,28		46	29,86	0,30	5,18	17,36
	11	6,14	0,06	1,32	21,54		47	32,36	0,32	2,80	8,66
	12	6,23	0,06	1,87	30,03		48	36,73	0,37	6,61	17,99
	13	6,25	0,06	1,13	18,10		49	38,80	0,39	8,57	22,09
	14	6,26	0,06	2,07	33,15		50	39,53	0,40	5,69	14,39
	15	6,47	0,06	1,42	22,01		51	40,92	0,41	4,83	11,81
	16	6,56	0,07	1,84	28,10		52	42,49	0,42	5,94	13,99
	17	6,58	0,07	2,08	31,52		53	43,28	0,43	12,53	28,95
	18	7,01	0,07	1,74	24,82		54	54,07	0,54	5,41	10,01
	19	7,05	0,07	2,73	38,73		55	56,85	0,57	12,69	22,32
	20	7,79	0,08	2,02	25,90		56	74,42	0,74	7,86	10,56
	21	7,86	0,08	3,20	40,73		57	81,08	0,81	11,74	14,47
	22	8,07	0,08	1,58	19,58		58	98,25	0,98	7,78	7,91
	23	8,39	0,08	2,47	29,39		59	100,36	1,00	12,85	12,80
	24	8,69	0,09	2,62	30,13		60	104,88	1,05	13,26	12,65
	25	9,80	0,10	3,18	32,49		61	107,41	1,07	16,76	15,60
M É D I O	26	10,20	0,10	3,20	31,41	G R A N D E	62	118,01	1,18	18,41	15,60
	27	10,24	0,10	2,56	25,02		63	139,30	1,39	15,75	11,30
	28	10,29	0,10	2,95	28,70		64	140,43	1,40	7,34	5,22
	29	10,93	0,11	5,20	47,55		65	149,76	1,50	11,79	7,88
	30	11,76	0,12	4,72	40,15		66	181,76	1,82	12,77	7,03
	31	11,92	0,12	3,28	27,50		67	184,00	1,84	26,07	14,17
	32	14,18	0,14	2,03	14,31		68	263,35	2,63	26,05	9,89
	33	14,57	0,15	4,55	31,23		69	354,82	3,55	32,17	9,07
	34	14,70	0,15	5,02	34,14		70	359,97	3,60	39,13	10,87
	35	16,39	0,16	3,87	23,61		71	418,57	4,19	34,76	8,30
	36	16,81	0,17	3,94	23,43		72	473,44	4,73	33,07	6,98

Fonte: Autoria própria.

Os 25 fragmentos considerados pequenos apresentam área total de 164,62 ha; os 28 fragmentos médios apresentam área total de 649,74 ha; e os 19 fragmentos grandes possuem área total de 3.460,72 ha. Exibindo 53 fragmentos (73,6%) menores que 50 ha e apenas 19 acima de 50 ha (26,4%). Santos *et al.* (2017) relata que estudos realizados em regiões de domínio Mata Atlântica mostraram que geralmente há grandes quantidades de fragmentos de tamanhos pequenos e poucos fragmentos grandes, assim como encontrados na BHRMP.

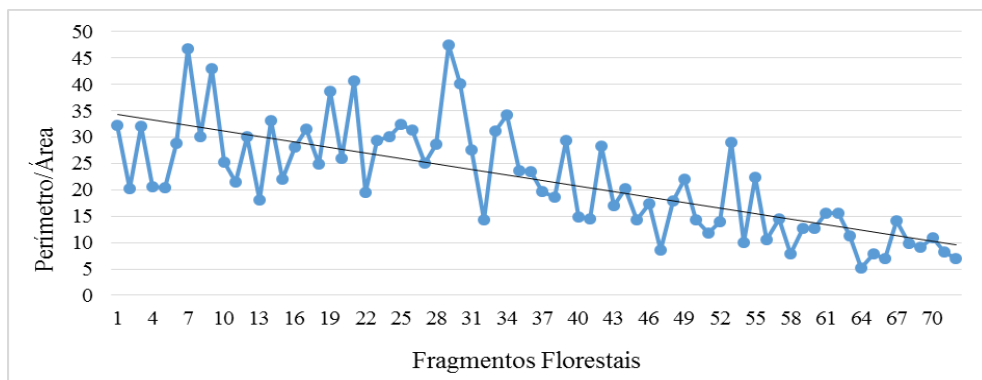
Fragmentos pequenos apresentam padrões de sustentabilidade muito frágeis ao longo do tempo, pois a redução de sua área acarreta em uma preocupante perda da diversidade biológica, tanto animal quanto vegetal, prejudicando sua capacidade de autossustentar e

consequentemente sua capacidade de regeneração natural. Entretanto, fragmentos maiores, geralmente favorecem a manutenção da diversidade biológica, contribuindo na regeneração natural dos fragmentos florestais (VIANA; PINHEIRO, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 1997; CALEGARI *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2017).

Também é importante observar a relação perímetro/área dos fragmentos florestais. Este parâmetro está relacionado à forma do fragmento florestal, que pode ser melhor observado quando se aplica o fator de forma proposto por Viana e Pinheiro (1998), que relaciona a forma do fragmento à de uma circunferência, para melhor detalhar a sua vulnerabilidade quanto aos efeitos de borda.

A Figura 19 apresenta a tendência da relação perímetro/área com o tamanho dos fragmentos florestais.

Figura 19. Tendência da relação Perímetro/Área com o tamanho dos fragmentos florestais



Fonte: Autoria própria.

A partir da análise da Figura 19 é possível identificar uma tendência inversamente proporcional entre a relação perímetro/área e o tamanho dos fragmentos, ou seja, à medida que os fragmentos florestais são maiores, observa-se uma redução na relação perímetro/área. Observação semelhante foi encontrada em Santos *et al.* (2017), que aferiu estes parâmetros para a área total de cada classe.

5.2.2. Avaliação do Efeito Antrópico no Entorno dos Fragmentos Florestais

Na avaliação do efeito antrópico no entorno dos fragmentos florestais, foi calculado o Índice de Efeito Antrópico (IEA) segundo Lourenço, Silva e Sales (2014). De acordo com os autores o IEA é calculado a partir do Índice de Efeito de Borda (IEB) e do Índice de Circularidade (IC).

Para elaboração do IEB inicialmente foram definidos pesos aos uso e cobertura da terra presentes no entorno dos fragmentos florestais, considerando o grau de importância e de

prejuízo aos fragmentos florestais, sendo 0 quanto menor o dano e 1 quanto maior o dano. Estes pesos foram adaptados de Lourenço, Silva e Sales (2014) devido ao maior detalhamento das classes de uso e cobertura da terra mapeadas na presente pesquisa (Tabela 5).

Tabela 5. Pesos atribuídos às classes de uso e cobertura da terra

Classe de uso e cobertura da terra	Peso atribuído
Área urbanizada	1
Cultura temporária	0,8
Pastagem	0,7
Cultura permanente	0,5
Reflorestamento	0,4
Campo	0,3
Lâmina d'água	0,1
Mata	0

Fonte: Adaptado de Lourenço, Silva e Sales (2014).

As vizinhanças contidas por matas estão presentes nos fragmentos que não são totalmente inseridos no limite da bacia, sendo que esta classe não produz impacto negativo ao fragmento e sim favorece a conectividade e a dispersão gênica da fauna e da flora. Os lagos também não produzem impactos negativo direto, porém exercem um efeito de borda, mesmo que baixo, por ser uma barreira física natural para as espécies vegetais, acarretando na abertura de clareiras quando presentes, proporcionando um efeito de borda no seu interior.

As áreas de reflorestamento e culturas permanentes produzem impactos positivos, por se tratarem de atividades agrícolas de longo período, favorecendo o trânsito de dispersores. Porém, o reflorestamento necessita da utilização de maquinários em períodos de corte, entretanto, a periodicidade é mais longa, enquanto nas culturas permanentes, a periodicidade de intervenção antrópica é mais curta e proporciona a utilização de defensivos agrícolas com maior intensidade quando comparado com os reflorestamentos.

As pastagens proporcionam a compactação do solo alterando suas propriedades físicas e mecânicas, produzindo impactos negativos, pois desfavorece a regeneração de espécies, além da degradação que os animais de grande e médio porte provocam nas bordas dos fragmentos. Da mesma forma, as culturas temporárias, por serem cultivos de curto período, estão sujeitas à intensa intervenção antrópica devido ao manejo do solo a cada replantio, o que impede o fluxo gênico e trânsito de dispersores, além de serem sujeitos à emissão de poluentes.

As áreas urbanizadas foram consideradas com o maior grau de impacto negativo com severo prejuízo aos fragmentos florestais, pois além de impedirem o fluxo gênico e trânsito de

dispersores, proporcionam a emissão de poluentes, são passivos de expansão e portam-se como barreira física consolidadas impedindo a conectividade entre os fragmentos florestais.

Na Tabela 6 são apresentados os valores de IC, IEB e IEA calculados para os fragmentos florestais da BHRMP.

Tabela 6. Valores do IC, IEB e IEA dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

Id	IC	IEB	IEA	Efeito	Id	IC	IEB	IEA	Efeito
1	0,5	0,5	0,5	M. E. A.	37	0,4	0,4	0,5	M. E. A.
2	0,8	0,4	0,4	M. E. A.	38	0,4	0,4	0,5	M. E. A.
3	0,5	0,3	0,4	M. E. A.	39	0,3	0,5	0,6	M. E. A.
4	0,7	0,5	0,4	M. E. A.	40	0,5	0,3	0,4	M. E. A.
5	0,7	0,6	0,5	M. E. A.	41	0,5	0,4	0,4	M. E. A.
6	0,5	0,6	0,6	M. E. A.	42	0,3	0,6	0,7	A. E. A.
7	0,3	0,4	0,5	M. E. A.	43	0,4	0,3	0,4	M. E. A.
8	0,5	0,5	0,5	M. E. A.	44	0,3	0,4	0,5	M. E. A.
9	0,3	0,6	0,7	A. E. A.	45	0,5	0,6	0,6	M. E. A.
10	0,6	0,4	0,4	M. E. A.	46	0,4	0,5	0,6	M. E. A.
11	0,7	0,5	0,4	M. E. A.	47	0,7	0,2	0,2	B. E. A.
12	0,5	0,4	0,4	M. E. A.	48	0,3	0,5	0,5	M. E. A.
13	0,8	0,5	0,4	M. E. A.	49	0,3	0,6	0,6	M. E. A.
14	0,4	0,4	0,4	M. E. A.	50	0,4	0,3	0,4	M. E. A.
15	0,6	0,4	0,4	M. E. A.	51	0,5	0,4	0,4	M. E. A.
16	0,5	0,5	0,5	M. E. A.	52	0,4	0,4	0,5	M. E. A.
17	0,4	0,5	0,5	M. E. A.	53	0,2	0,5	0,6	M. E. A.
18	0,5	0,5	0,5	M. E. A.	54	0,5	0,4	0,4	M. E. A.
19	0,3	0,5	0,6	M. E. A.	55	0,2	0,5	0,6	M. E. A.
20	0,5	0,4	0,5	M. E. A.	56	0,4	0,4	0,5	M. E. A.
21	0,3	0,5	0,5	M. E. A.	57	0,3	0,5	0,6	M. E. A.
22	0,6	0,5	0,4	M. E. A.	58	0,5	0,3	0,4	M. E. A.
23	0,4	0,7	0,6	M. E. A.	59	0,3	0,5	0,5	M. E. A.
24	0,4	0,6	0,6	M. E. A.	60	0,3	0,4	0,5	M. E. A.
25	0,3	0,5	0,6	M. E. A.	61	0,2	0,6	0,6	M. E. A.
26	0,4	0,5	0,5	M. E. A.	62	0,2	0,6	0,7	A. E. A.
27	0,4	0,4	0,5	M. E. A.	63	0,3	0,4	0,5	M. E. A.
28	0,4	0,4	0,5	M. E. A.	64	0,6	0,3	0,4	M. E. A.
29	0,2	0,6	0,7	A. E. A.	65	0,4	0,4	0,5	M. E. A.
30	0,3	0,5	0,6	M. E. A.	66	0,4	0,3	0,4	M. E. A.
31	0,4	0,4	0,4	M. E. A.	67	0,2	0,5	0,6	M. E. A.
32	0,7	0,5	0,4	M. E. A.	68	0,2	0,4	0,5	M. E. A.
33	0,3	0,4	0,5	M. E. A.	69	0,2	0,4	0,5	M. E. A.
34	0,3	0,3	0,5	M. E. A.	70	0,2	0,4	0,5	M. E. A.
35	0,4	0,7	0,7	A. E. A.	71	0,2	0,4	0,6	M. E. A.
36	0,4	0,5	0,6	M. E. A.	72	0,2	0,3	0,5	M. E. A.

Fonte: Autoria própria.

Legenda: B.E.A.: Baixo efeito antrópico; M.E.A.: Médio efeito antrópico; A.E.A.: Alto efeito antrópico.

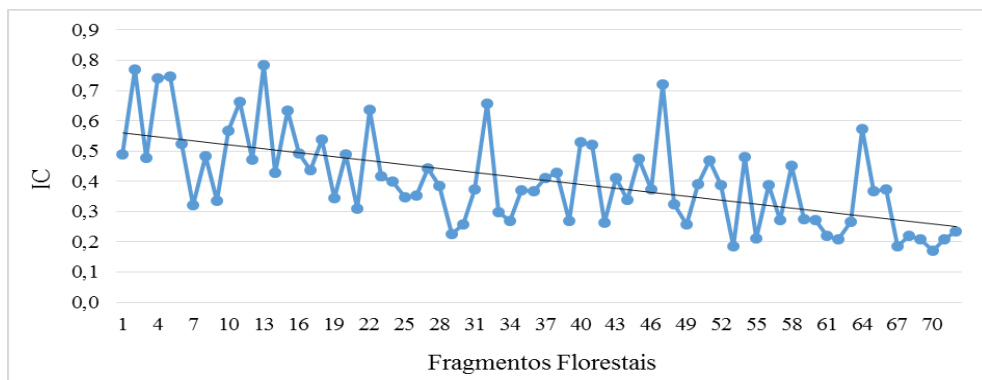
Na área em estudo somente os fragmentos 2 e 13 foram considerados arredondados, além de serem considerados de tamanhos pequenos, com 5,18 ha e 6,25 ha respectivamente; foram encontrados nove fragmentos alongados, sendo seis pequenos (fragmentos 4, 5, 10, 11

e 15), dois médios (fragmentos 32 e 47) e apenas um de tamanho grande (fragmento 64); os demais fragmentos existentes são considerados muito alongados, sendo 17 pequenos, 26 médios e 18 grandes. Portanto, foram contabilizados que apenas 2,8% dos fragmentos são considerados arredondados, 12,5% são alongados e 84,7% são muito alongados.

O IC não leva em consideração os fatores ecológicos dos fragmentos florestais, apenas apresenta um indicador de suscetibilidade quanto a sua forma, sendo imprescindível a avaliação das atividades desenvolvidas no seu entorno (LOURENÇO *et al.*, 2014; SALES *et al.*, 2017). Viana e Pinheiro (1998) afirmam que os fragmentos considerados arredondados estão menos sujeitos aos efeitos de borda, enquanto os muito alongados estão mais suscetíveis aos efeitos de borda. Isso se deve ao fato de que os fragmentos mais alongados, apresentam maior superfície de contato com o exterior.

Assim como a relação perímetro/área dos fragmentos, observa-se que o IC também apresenta uma tendência inversamente proporcional ao tamanho dos fragmentos (Figura 20).

Figura 20. Tendência do IC com o tamanho dos fragmentos florestais

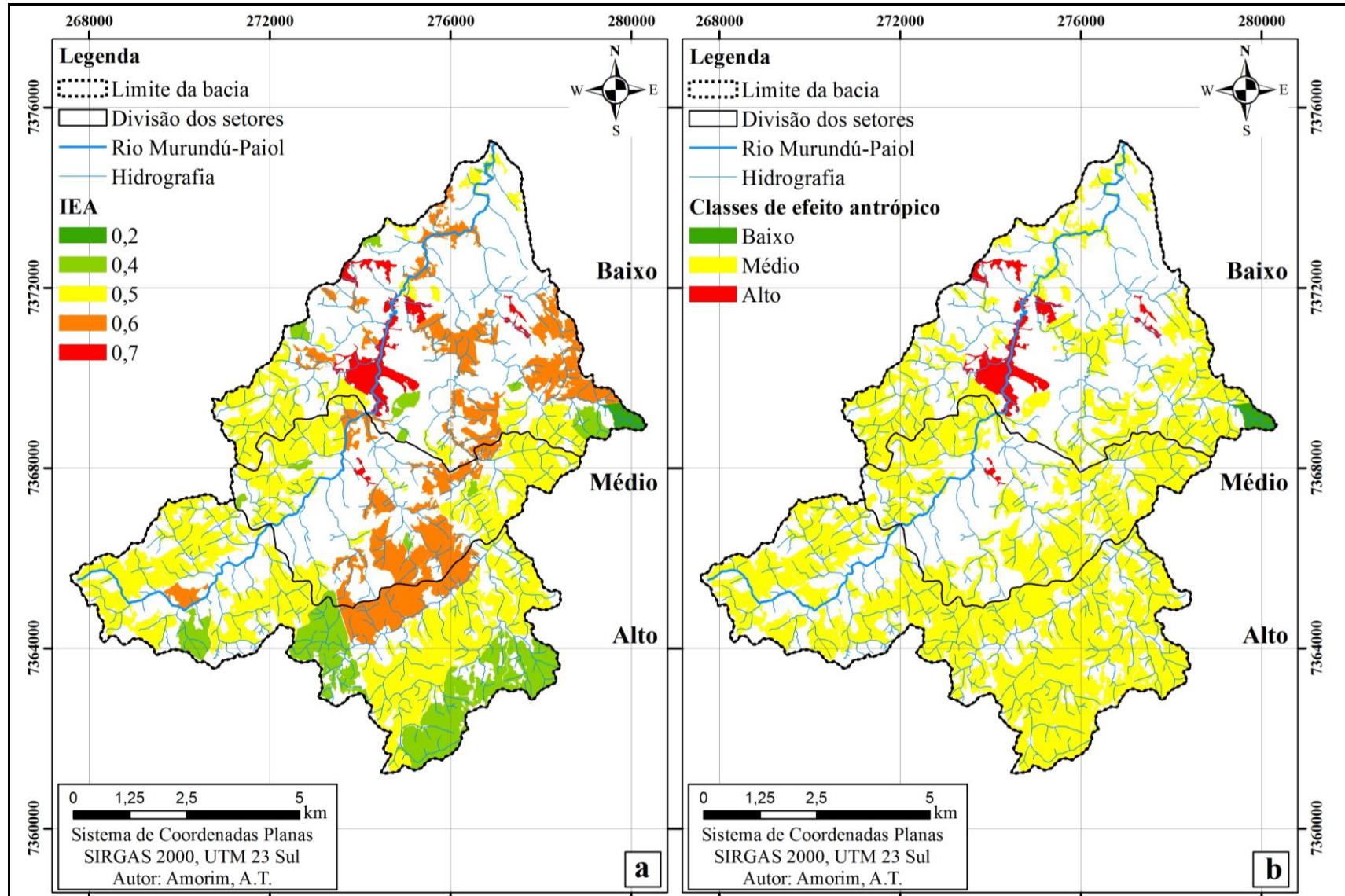


Fonte: Autoria própria.

Visto que 94,7% dos fragmentos grandes, 92,9% dos fragmentos médios e 68,0% dos fragmentos pequenos são muito alongados, os menores fragmentos estão mais suscetíveis aos efeitos de borda quando comparados com os maiores. Isto também é confirmado por Abdalla e Cruz (2015), ao afirmar que os fragmentos maiores mesmo apresentando formatos mais irregulares, tem o efeito de borda compensado quando comparado com os fragmentos menores, pois geralmente têm maior área preservada no seu interior, apresentando condição mais adequada para a conservação e regeneração do fragmento.

A Figura 21a-b apresenta a distribuição espacial do efeito antrópico no entorno dos fragmentos florestais da BHRMP.

Figura 21. Efeito antrópico no entorno dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP



Pode-se observar ao analisar a Figura 21 que os fragmentos com menores efeitos antrópicos no seu entorno estão situados ao sul, no alto curso da bacia hidrográfica, enquanto que aqueles com maiores efeitos estão situados ao norte, no baixo curso da bacia hidrográfica, devido à maior fragmentação da paisagem e maior presença de áreas antrópicas nesta região.

A vizinhança representa um dos fatores mais graves quanto aos distúrbios provocados nos fragmentos florestais, condicionando-os à prejuízos nos processos de sucessão dos estágios de regeneração (OLIVEIRA *et al.*, 1997; NASCIMENTO *et al.*, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2011). Santos *et al.* (2017) afirma que é na borda dos fragmentos florestais que a maioria dos processos biológicos ligados à fragmentação geralmente se iniciam.

O IEB considera o efeito de borda em relação ao limite do fragmento e aos pesos atribuídos aos diferentes usos e cobertura da terra. Quanto a esse índice, 10 fragmentos apresentaram baixa pressão antrópica no seu entorno; 60 média pressão antrópica; e apenas 2 com alta pressão antrópica no seu entorno.

Dos dez fragmentos com baixo IEB, nove apresentaram IEA médio e são considerados muito alongados. Apenas o fragmento 47 apresentou baixo IEB e baixo IEA, porém este é um fragmento alongado. Dos dois fragmentos que apresentaram alto IEB, um possui alto e o outro médio IEA (fragmentos 35 e 23, respectivamente) e são muito alongados.

O IEA por ser uma média ponderada entre o IC e o IEB, onde o IC tem peso 1 e o IEB tem peso 2, apenas o fragmento 47 apresentou baixo IEA (1,4%); 66 foram classificados com médio IEA (91,7%); e apenas 5 com alto IEA no seu entorno, representando um total de 6,9% do total dos fragmentos analisados. Todos os fragmentos com alto IEA possuem formas muito alongadas e o IEB varia entre média e alta pressão antrópica.

5.3 Avaliação das Condicionantes Físicas do Terreno

A Figura 22a-b apresenta a distribuição espacial dos fragmentos florestais quanto às suas altitudes médias, e a Figura 23a-b refere-se aos percentuais de declividade e suas formas de relevo.

Figura 22. Altitude dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

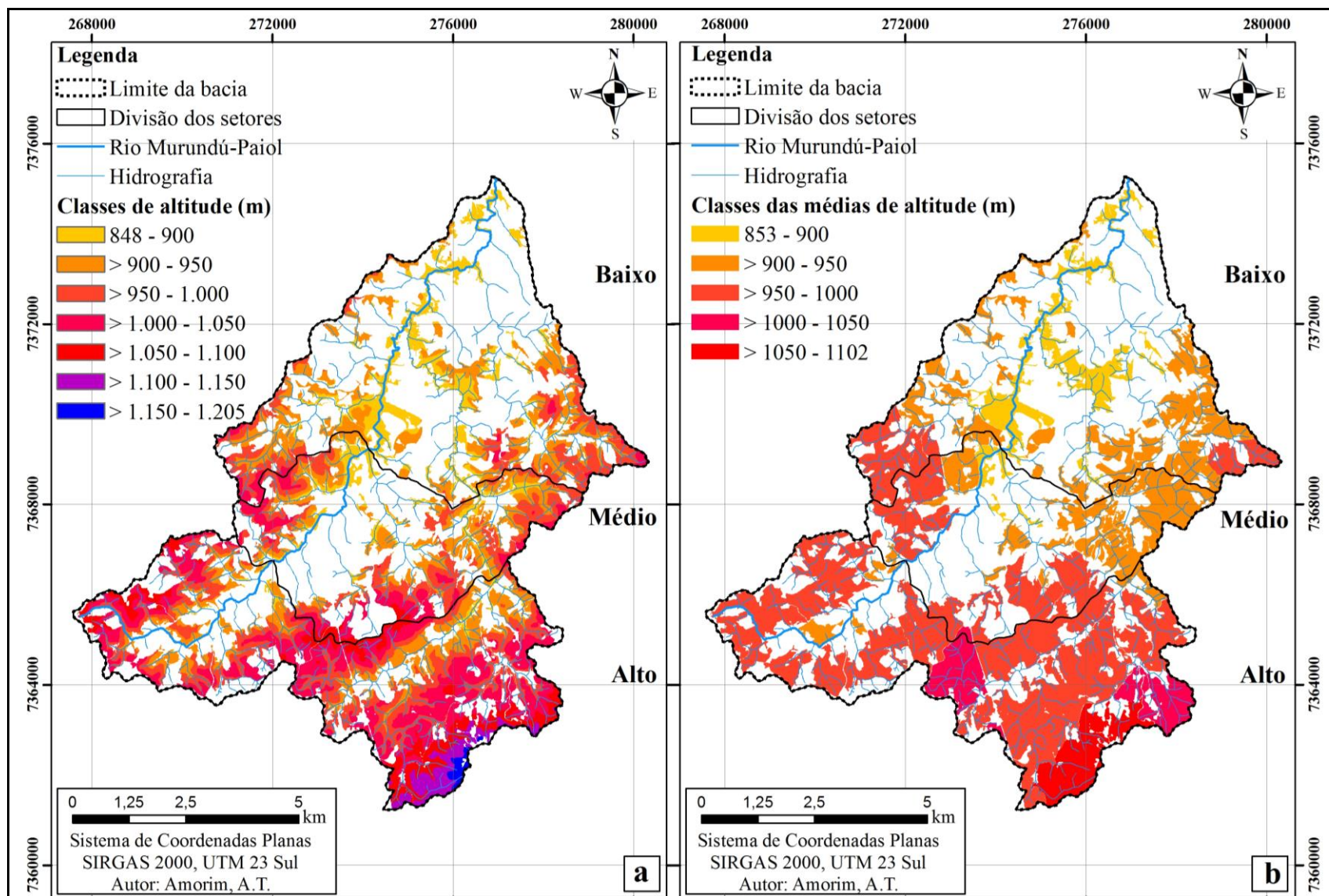
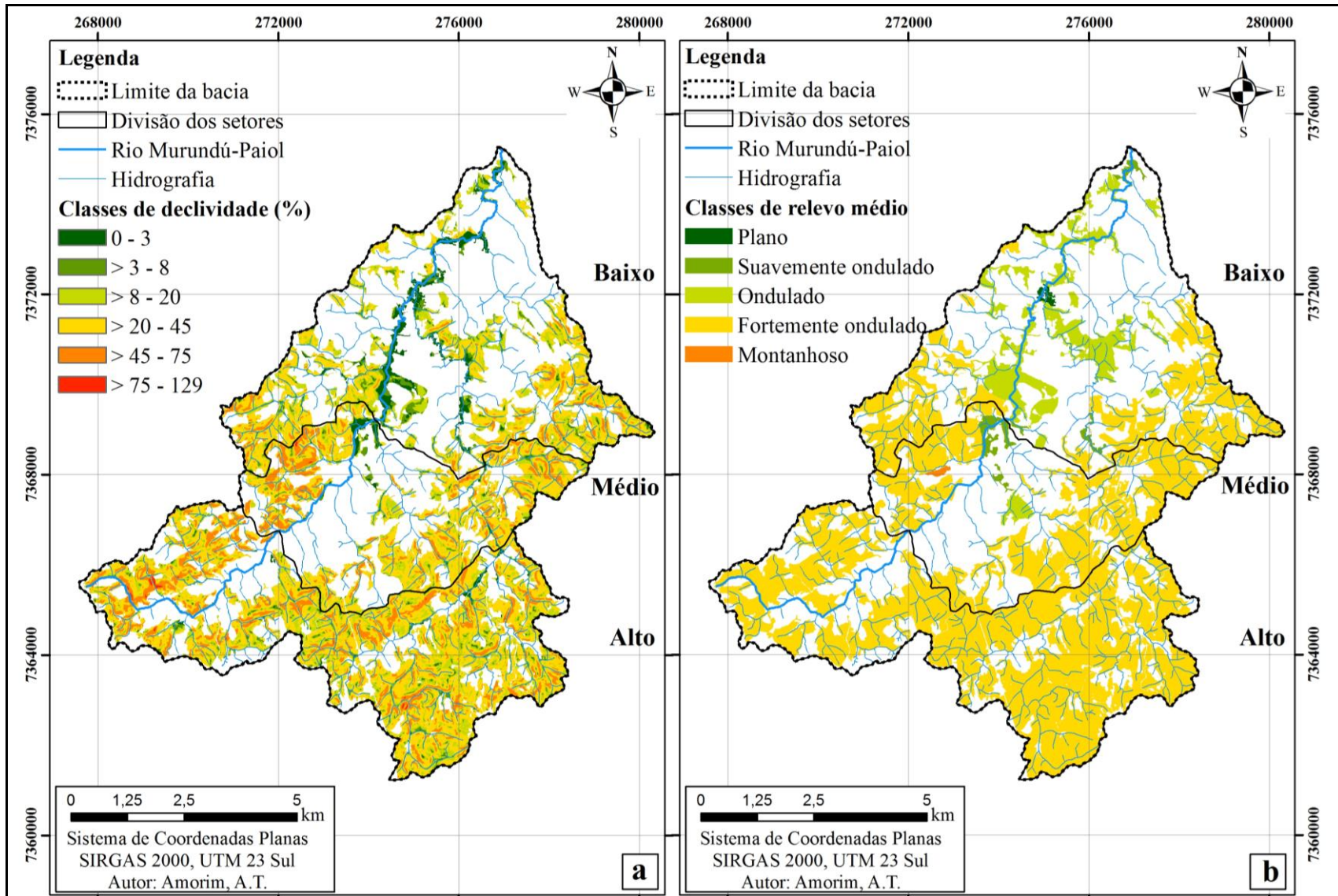


Figura 23. Declividade e classes de relevo dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP



A Tabela 7 apresenta os valores dos parâmetros das Figuras 22a-b e 23a-b de cada fragmento florestal.

Tabela 7. Altitude e declividade médias dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

Id	Altitude média	Declividade média	Forma do relevo	Id	Altitude média	Declividade média	Forma do relevo
1	866,09	2,14	Plano	37	920,09	26,51	Fort. ond.
2	995,68	39,83	Fort. ond.	38	914,49	26,19	Fort. ond.
3	926,08	36,81	Fort. ond.	39	906,89	22,01	Fort. ond.
4	913,76	18,36	Ondulado	40	906,25	9,64	Ondulado
5	912,36	15,12	Ondulado	41	977,81	29,37	Fort. ond.
6	933,86	23,80	Fort. ond.	42	933,49	17,81	Ondulado
7	898,99	32,49	Fort. ond.	43	1002,31	23,02	Fort. ond.
8	865,30	1,99	Plano	44	942,03	29,77	Fort. ond.
9	899,57	7,15	Suav. ond.	45	907,20	19,61	Ondulado
10	1004,16	23,03	Fort. ond.	46	937,76	32,22	Fort. ond.
11	933,61	23,01	Fort. ond.	47	981,18	26,33	Fort. ond.
12	1022,82	21,93	Fort. ond.	48	937,81	24,19	Fort. ond.
13	906,89	15,25	Ondulado	49	875,11	6,04	Suav. ond.
14	853,05	6,06	Suav. ond.	50	1079,25	33,64	Fort. ond.
15	934,28	47,12	Montanhoso	51	961,94	29,16	Fort. ond.
16	915,11	20,43	Fort. ond.	52	962,81	31,26	Fort. ond.
17	854,80	7,58	Suav. ond.	53	867,90	10,65	Ondulado
18	921,70	28,37	Fort. ond.	54	972,90	29,86	Fort. ond.
19	905,52	13,11	Ondulado	55	925,35	27,59	Fort. ond.
20	923,73	30,96	Fort. ond.	56	949,61	27,42	Fort. ond.
21	881,64	19,41	Ondulado	57	930,90	25,68	Fort. ond.
22	937,37	23,46	Fort. ond.	58	1040,24	28,80	Fort. ond.
23	900,38	19,52	Ondulado	59	983,87	30,18	Fort. ond.
24	905,06	17,71	Ondulado	60	923,29	26,45	Fort. ond.
25	922,01	29,41	Fort. ond.	61	892,34	19,06	Ondulado
26	919,22	17,37	Ondulado	62	881,31	9,32	Ondulado
27	926,72	39,76	Fort. ond.	63	977,13	28,94	Fort. ond.
28	917,44	43,47	Fort. ond.	64	1002,59	27,86	Fort. ond.
29	894,51	16,62	Ondulado	65	984,06	28,31	Fort. ond.
30	874,11	7,74	Suav. ond.	66	1101,68	28,45	Fort. ond.
31	977,00	23,94	Fort. ond.	67	944,10	28,42	Fort. ond.
32	938,63	20,99	Fort. ond.	68	947,64	30,23	Fort. ond.
33	942,81	33,52	Fort. ond.	69	963,70	33,15	Fort. ond.
34	864,17	8,18	Ondulado	70	998,26	35,68	Fort. ond.
35	881,18	11,98	Ondulado	71	985,32	29,66	Fort. ond.
36	870,34	9,53	Ondulado	72	996,43	28,41	Fort. ond.

Fonte: Autoria própria.

Legenda: Fort. ond.: Fortemente ondulado; Suav. ond.: Suavemente ondulado.

A posição em que os fragmentos florestais se encontram está diretamente relacionada ao histórico de perturbação, pois assim como encontrado por Oliveira *et al.* (1997), por Cunha *et al.* (2012) e por Abdalla e Cruz (2015), por exemplo, a grande maioria dos fragmentos

encontram-se em locais onde a declividade é mais acentuada, com maior dificuldade de acesso da população e custos mais elevados no contexto de implantações de atividades antrópicas. Nessas condições, os impactos negativos impostos aos fragmentos florestais são sempre menores, o que contribui com a maior proteção destas áreas.

Observa-se que há 16 fragmentos que estão entre 853 e 900 metros de altitude, sendo apenas 2 fragmentos grandes, 7 médios e 7 pequenos, que variam de relevos planos a ondulados. Segundo EMBRAPA (2006), os relevos classificados como planos a ondulados apresentam superfície topográfica pouco movimentada, onde os declives variam entre baixo (0 a 3%) a suaves (3 a 8%) e moderados (8 a 20%). Destes 16 fragmentos, 4 estão sob alto IEA (sendo que há apenas 5 fragmentos estão sob alto IEA) e 12 sob médio IEA, evidenciando a hipótese de que são nestas regiões que predominam a maioria das atividades antrópicas, acarretando maior fragmentação do ambiente e afetando principalmente na conservação e regeneração dos fragmentos florestais.

Nenhum fragmento florestal encontra-se predominantemente em relevo escarpado (acima de 75% de inclinação), porém cerca de 65% dos fragmentos estão sob influência de relevo fortemente ondulado (20 a 45% de declive) e montanhoso (de 45 a 75% de declive), estando estes situados em altitudes mais elevadas da bacia (acima de 900 metros). Estes fragmentos variam entre médio e baixo efeito antrópico no seu entorno. Segundo EMBRAPA (2006), os relevos que variam entre fortemente ondulado e montanhoso, apresentam superfície topográfica mais movimentada e vigorosa, com altitudes mais elevadas e declives variando de forte a muito forte.

Marques *et al.* (2005) e Bispo *et al.* (2009) avaliaram diversos fatores topográficos visando identificar os que representavam maior influência na manutenção de fragmentos florestais. Verifica-se em ambos os trabalhos que as características do terreno que melhor representaram distinção entre a vegetação foram a altitude, a declividade e a orientação do terreno. Silveira e Silva (2010), também constataram que a declividade e a orientação do terreno são fatores que influenciam na regeneração natural de florestas, sendo que as encostas mais favorecidas são aquelas que recebem menor radiação solar e conseqüentemente são mais úmidas.

A Tabela 8 apresenta o percentual de ocorrência das faces de orientação do terreno em cada fragmento florestal, bem como o seu grau de insolação. A distribuição espacial dessas ocorrências na BHRMP pode ser observada na Figura 24a-b.

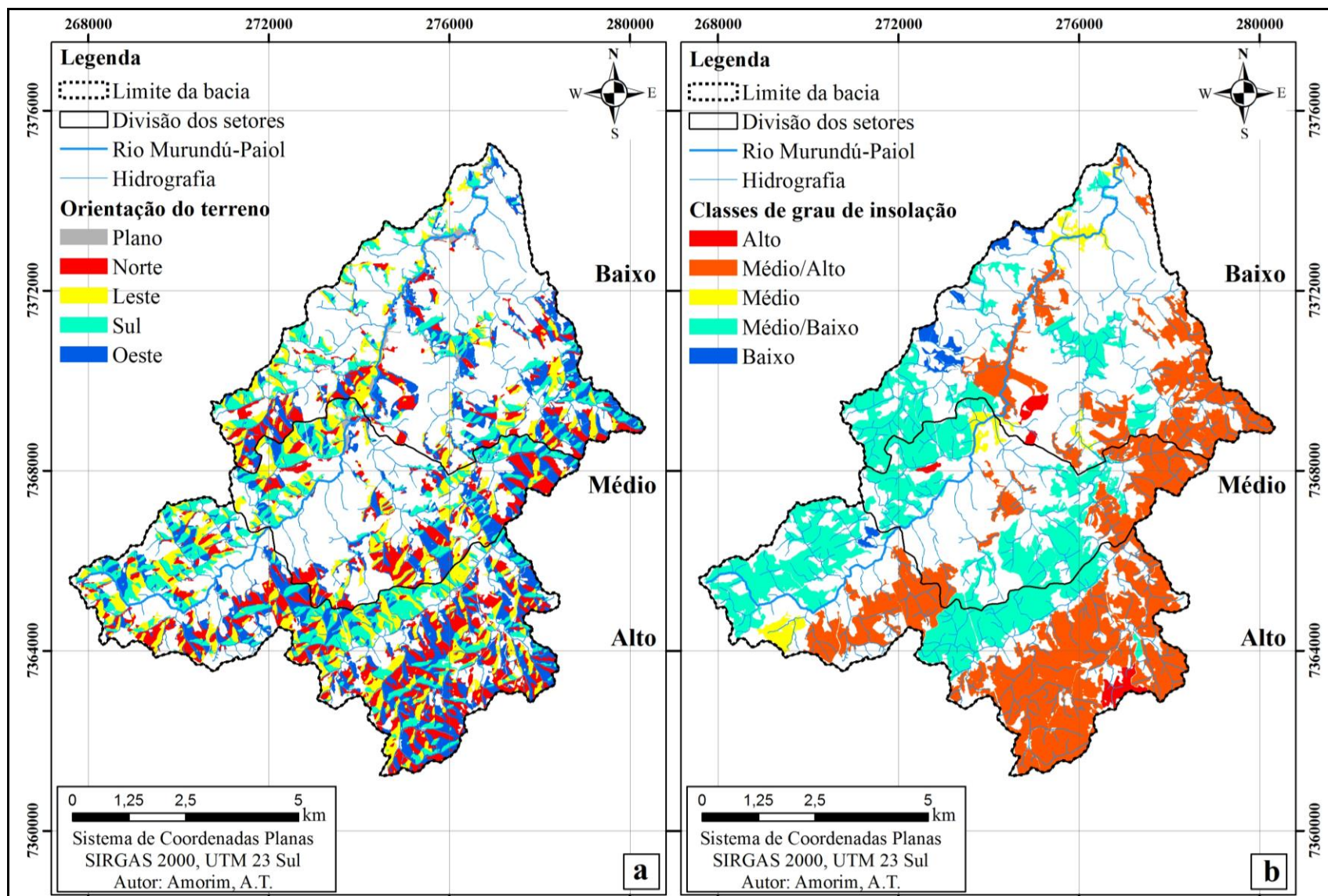
Tabela 8. Percentual de orientação do terreno e grau de insolação por fragmento florestal da BHRMP, Ibiúna, SP

Id	% L	% N	% O	% S	% P	Classes de grau de insolação	Id	% L	% N	% O	% S	% P	Classes de grau de insolação
1	16	7	73	4	-	M/A	37	47	18	22	13	-	M/B
2	90	-	-	10	-	M/B	38	42	32	24	2	-	M/A
3	54	32	14	-	-	M/B	39	16	18	6	56	4	B
4	57	43	-	-	-	M/B	40	4	54	33	9	-	A
5	31	48	21	-	-	M/A	41	10	31	52	7	-	M/A
6	41	-	8	51	-	B	42	42	17	7	34	-	M/B
7	-	6	57	37	-	M/A	43	23	34	40	3	-	M/A
8	37	6	48	9	-	M/A	44	45	21	2	32	-	M/B
9	26	43	21	10	-	M/A	45	38	34	27	1	-	M/A
10	56	25	15	4	-	M/B	46	21	22	16	38	3	M/B
11	1	39	37	23	-	M/A	47	9	26	35	30	-	M/A
12	22	44	24	10	-	M/A	48	43	5	3	49	-	M/B
13	6	79	13	2	-	A	49	23	17	22	11	27	M
14	27	24	9	2	38	M	50	16	55	27	2	-	A
15	-	100	-	-	-	A	51	29	32	38	1	-	M/A
16	25	1	3	71	-	B	52	40	46	4	10	-	M
17	18	3	62	8	9	M/A	53	22	7	10	24	37	M
18	2	13	61	24	-	M/A	54	16	43	31	10	-	M/A
19	60	11	6	23	-	M/B	55	26	23	20	29	2	M/B
20	-	11	51	38	-	M/A	56	22	29	35	14	-	M/A
21	-	6	72	22	-	M/A	57	5	17	38	40	-	M/A
22	28	3	-	69	-	B	58	18	34	39	9	-	M/A
23	52	10	13	25	-	M/B	59	14	32	35	19	-	M/A
24	23	7	23	47	-	M/B	60	36	16	20	28	-	M/B
25	1	1	29	69	-	M/B	61	18	10	31	35	6	M/B
26	16	1	1	82	-	B	62	26	26	26	12	10	M/A
27	14	3	14	68	1	B	63	17	31	38	14	-	M/A
28	54	8	1	36	1	M/B	64	30	19	17	34	-	M/B
29	2	34	50	14	-	M/A	65	17	38	33	11	1	M/A
30	41	14	30	6	9	M	66	7	40	41	12	-	M/A
31	41	37	19	3	-	M/A	67	15	15	43	27	-	M/A
32	18	-	3	79	-	B	68	13	27	35	25	-	M/A
33	65	28	7	-	-	M/B	69	30	23	18	29	-	M/B
34	27	7	16	45	5	M/B	70	32	12	16	40	-	M/B
35	2	35	56	7	-	M/A	71	34	20	18	27	1	M/B
36	21	39	12	28	-	M/A	72	24	34	28	14	-	M/A

Fonte: Autoria própria.

Legenda: A: alto; B: baixo; M: médio; M/A: médio alto; M/B: médio baixo.

Figura 24. Orientação do terreno e grau de insolação dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP



No contexto geral, a bacia hidrográfica apresenta ocorrência de 28,1% das faces voltadas para o norte, 26,4% para oeste, 24,8% para o leste, 18,6 para o sul e 2,1% plano, não apresentando uma predominância de orientação em seu limite territorial. Com relação aos fragmentos florestais em análise, apresentam uma mancha de 25,0% das vertentes voltadas para o norte, 26,2% para o oeste, 23,9% para o leste, 23,4 para o sul e 1,5% planos, apresentando distribuição homogênea conforme observado na Figura 24a-b.

Com relação ao grau de insolação, foram encontrados 4 fragmentos florestais submetidos a um alto grau de insolação, 33 em médio/alto grau, 5 em médio grau, 23 em médio/baixo grau e 7 em baixo grau de insolação. Visto que, quanto menor o grau de insolação, menor será a evapotranspiração e maior será a taxa de umidade, sendo esta a melhor condição para a regeneração dos fragmentos florestais. Deste modo, tem-se 30 fragmentos florestais em melhores condições de regeneração quanto à sua orientação do terreno, ou seja, aproximadamente 32% dos fragmentos florestais.

5.4 Avaliação Espectral dos Fragmentos Florestais

A Tabela 9 apresenta os valores médios e o desvio padrão do SAVI de cada fragmento florestal.

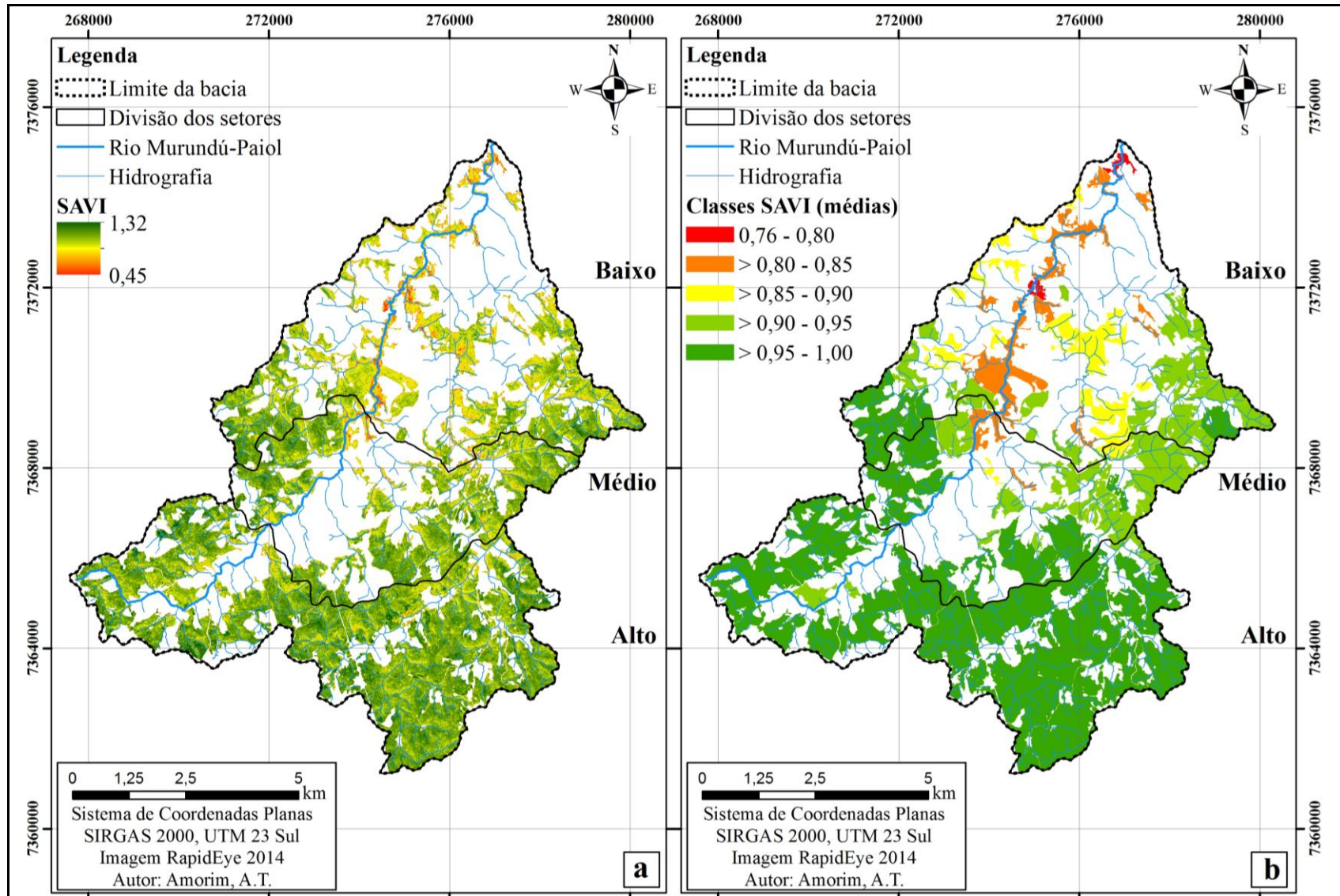
Tabela 9. Valores médios e desvio padrão do SAVI dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

Id	SAVI		Id	SAVI	
	Média	Desvio padrão		Média	Desvio padrão
1	0,77	0,09	37	0,93	0,07
2	1,00	0,07	38	0,91	0,08
3	0,94	0,08	39	0,88	0,08
4	0,89	0,07	40	0,90	0,07
5	0,91	0,08	41	1,00	0,06
6	0,90	0,08	42	0,88	0,09
7	0,83	0,09	43	0,95	0,07
8	0,77	0,06	44	0,94	0,07
9	0,87	0,08	45	0,91	0,07
10	0,97	0,07	46	0,93	0,07
11	0,94	0,07	47	0,94	0,06
12	1,00	0,04	48	0,93	0,08
13	0,92	0,08	49	0,82	0,08
14	0,78	0,08	50	0,97	0,06
15	0,97	0,07	51	0,98	0,06
16	0,90	0,08	52	0,97	0,07
17	0,76	0,08	53	0,83	0,08
18	0,90	0,09	54	0,99	0,07
19	0,87	0,09	55	0,91	0,09
20	0,94	0,08	56	0,94	0,06
21	0,82	0,09	57	0,89	0,08
22	0,89	0,07	58	0,98	0,05
23	0,85	0,08	59	0,97	0,07
24	0,84	0,09	60	0,94	0,07
25	0,93	0,08	61	0,86	0,08
26	0,86	0,09	62	0,84	0,09
27	0,95	0,09	63	0,97	0,07
28	0,96	0,08	64	0,98	0,06
29	0,84	0,09	65	0,96	0,06
30	0,82	0,08	66	0,98	0,05
31	0,99	0,07	67	0,91	0,07
32	0,91	0,07	68	0,94	0,07
33	0,96	0,08	69	0,96	0,07
34	0,80	0,08	70	0,97	0,07
35	0,80	0,08	71	0,96	0,06
36	0,83	0,09	72	0,97	0,06

Fonte: Autoria própria.

A Figura 25a-b apresenta a distribuição espacial do SAVI (a) dos fragmentos florestais, bem como a distribuição das suas médias (b) na BHRMP.

Figura 25. SAVI dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP



A Tabela 10 apresenta os valores médios e o desvio padrão do IAF de cada fragmento florestal.

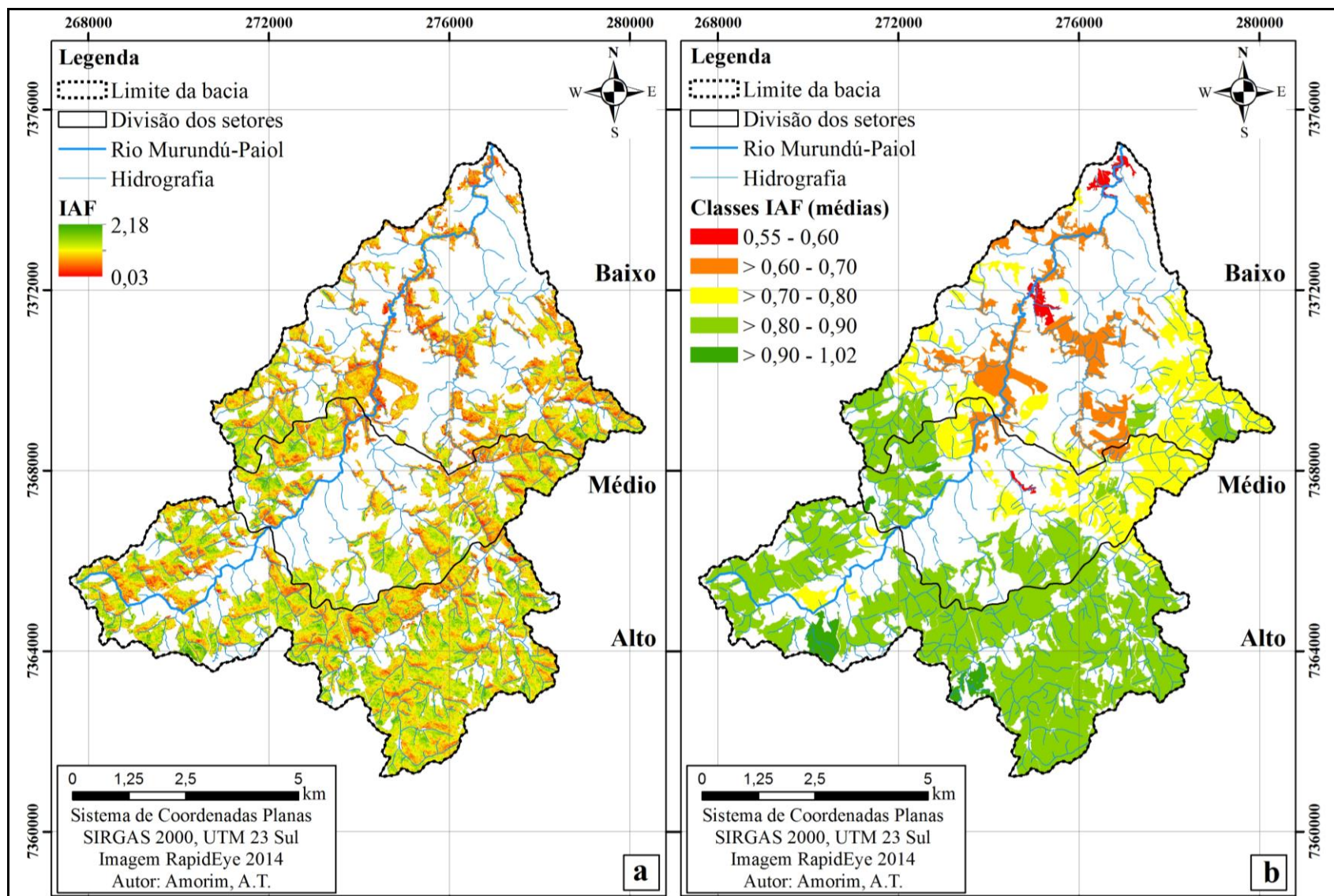
Tabela 10. Valores médios e desvio padrão do IAF dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

Id	IAF		Id	IAF	
	Média	Desvio padrão		Média	Desvio padrão
1	0,57	0,14	37	0,78	0,16
2	1,01	0,17	38	0,78	0,18
3	0,82	0,18	39	0,68	0,16
4	0,75	0,15	40	0,72	0,13
5	0,79	0,15	41	0,93	0,18
6	0,78	0,21	42	0,72	0,16
7	0,58	0,16	43	0,84	0,16
8	0,57	0,10	44	0,82	0,19
9	0,71	0,17	45	0,77	0,15
10	0,90	0,17	46	0,75	0,18
11	0,80	0,13	47	0,78	0,17
12	0,94	0,16	48	0,78	0,18
13	0,78	0,16	49	0,61	0,14
14	0,57	0,13	50	0,89	0,16
15	1,02	0,18	51	0,89	0,19
16	0,70	0,18	52	0,88	0,19
17	0,55	0,12	53	0,64	0,15
18	0,73	0,21	54	0,94	0,22
19	0,71	0,17	55	0,74	0,18
20	0,84	0,23	56	0,79	0,17
21	0,65	0,16	57	0,69	0,16
22	0,70	0,15	58	0,84	0,17
23	0,67	0,14	59	0,87	0,18
24	0,65	0,17	60	0,79	0,17
25	0,74	0,20	61	0,65	0,15
26	0,64	0,17	62	0,63	0,14
27	0,78	0,24	63	0,87	0,19
28	0,85	0,22	64	0,84	0,18
29	0,68	0,18	65	0,85	0,17
30	0,61	0,13	66	0,85	0,16
31	0,94	0,22	67	0,73	0,17
32	0,73	0,15	68	0,77	0,18
33	0,88	0,18	69	0,84	0,20
34	0,60	0,13	70	0,83	0,21
35	0,59	0,13	71	0,81	0,18
36	0,62	0,14	72	0,86	0,17

Fonte: Autoria própria.

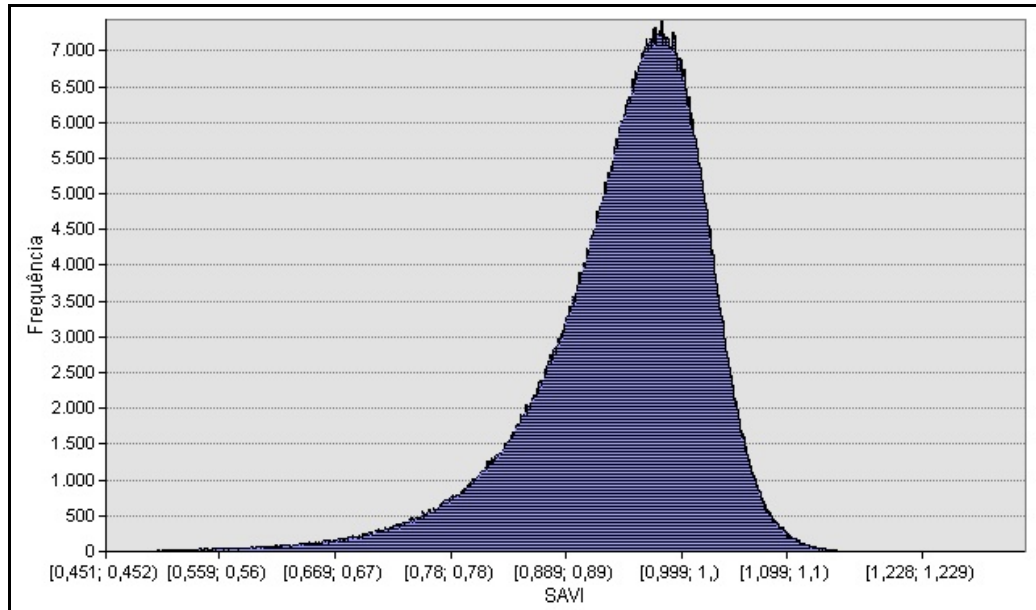
A Figura 26a-b apresenta a distribuição espacial do IAF (a) dos fragmentos florestais, bem como a distribuição das suas médias (b) na BHRMP.

Figura 26. IAF dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP



Os valores do SAVI apresentaram valores mínimos de 0,45 e valores máximos de 1,32, com média de 0,94 e desvio padrão de 0,08. As médias dos fragmentos florestais para este índice variaram entre 0,76 e 1,00 com desvios padrão variando de 0,04 a 0,09. A Figura 27 apresenta o histograma do SAVI.

Figura 27. Histograma do SAVI

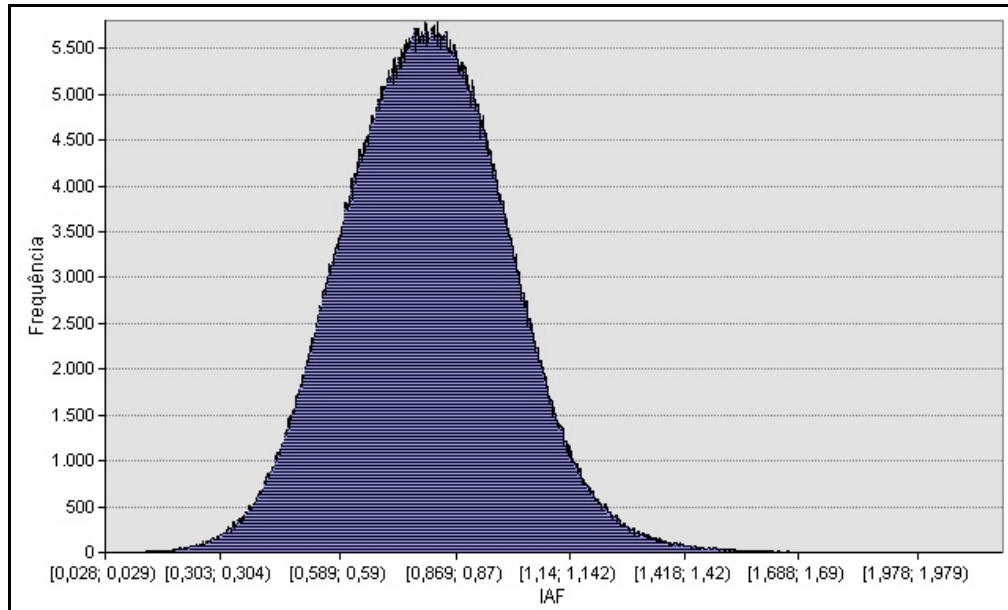


Fonte: Autoria própria.

No histograma do SAVI (Figura 27) é possível verificar uma assimetria negativa e uma medida de dispersão leptocurtica, indicando que os picos de concentração dos valores estão mais próximos da média (maiores concentrações entre 0,75 a 1,08).

Quanto ao IAF, o mínimo observado foi de 0,03 e máximo de 2,18, com média de 0,80 e desvio padrão de 0,19. As médias dos fragmentos florestais para este índice variaram entre 0,55 e 1,02, com desvios padrão entre 0,10 e 0,24. A Figura 28 apresenta o histograma do IAF.

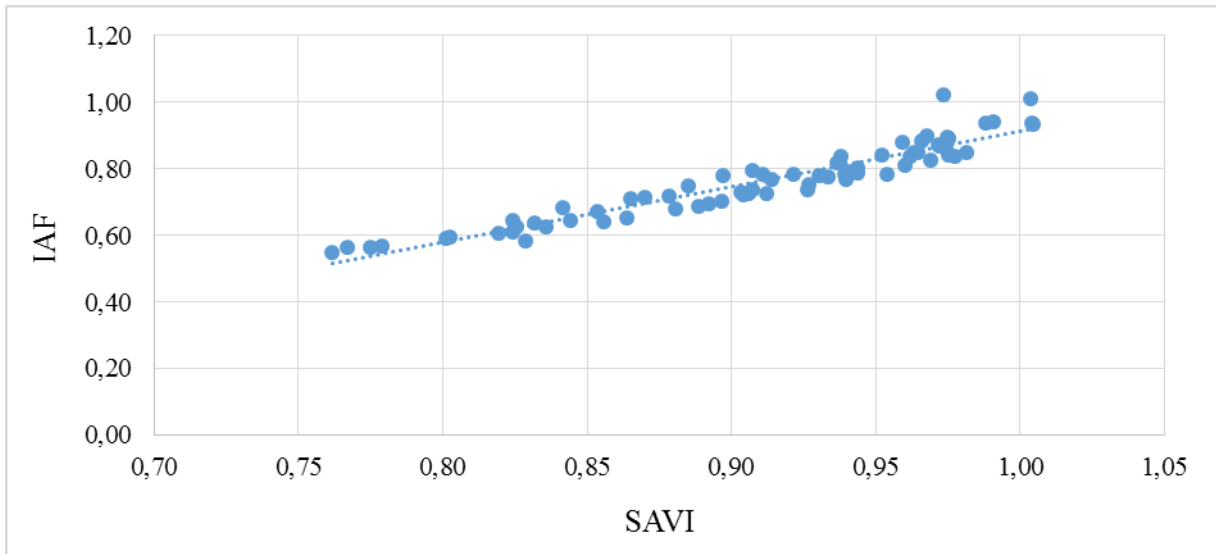
Figura 28. Histograma do IAF



Fonte: Autoria própria.

Constata-se que o histograma do IAF (Figura 28) apresenta forma mais simétrica e também possui uma medida de dispersão leptocúrtica, com picos de concentração dos valores próximos da média (maiores concentrações entre 0,38 a 1,2).

Ao analisar as Figuras 25 e 26, nota-se que no setor norte (baixo curso) estão os fragmentos florestais com as menores médias tanto do SAVI quanto do IAF, enquanto as maiores médias estão distribuídas em locais onde a altitude é mais elevada e os declives mais acentuados (setor sul, alto curso), assim como os fragmentos florestais com maiores efeitos antrópicos no seu entorno estão situados em altitudes menores e declives mais amenos. A relação entre o SAVI e o IAF é apresentada na Figura 29.

Figura 29. Relação entre os valores do SAVI e IAF

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os índices possuem uma relação positiva, ou seja, à medida que os valores do SAVI aumentam, existe uma tendência de aumento também nos valores do IAF. Devido ao fato dos pontos estarem muito próximos à linha de tendência, tem-se uma boa relação entre estes dois parâmetros, porém para ter melhor clareza dessa relação, foi calculado o coeficiente de correlação de *Pearson*, que pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11. Correlação entre os valores do SAVI e IAF

Correlação	SAVI	IAF
SAVI	1	0,95
IAF	0,95	1

Fonte: Autoria própria.

O coeficiente de correlação de *Pearson* varia entre -1 a 1, onde -1 apresenta associação negativa forte, 0 (zero) quando não há associação, e 1 apresenta forte associação positiva entre as variáveis. Com o coeficiente de correlação de 0,95, tem-se que as variáveis apresentam forte associação positiva e linear. Este resultado é condizente com o encontrado por Santana *et al.* (2018), que avaliaram índices de vegetação, incluindo o SAVI e o IAF para identificar as melhores respostas espectrais em fragmentos de Mata Atlântica, e encontraram um valor de 0,96 entre estes dois índices.

5.5 Seleção e Avaliação dos Fragmentos Florestais em Campo

A Tabela 12 apresenta as classes numéricas e sequenciais dos parâmetros avaliados espacialmente, onde o menor valor representa a pior condição e o maior valor representa a melhor condição do fragmento florestal, de acordo com a significância de cada parâmetro.

Tabela 12. Classes numéricas dos parâmetros analisados

Características de tamanho e do efeito antrópico					
Tamanho	Classe_Tamanho	IEA	Classe_IEA		
Pequeno	1	Alto	1		
Médio	2	Médio	2		
Grande	3	Baixo	3		

Características físicas do terreno					
Altitude	Classe_Alti	Relevo	Classe_Relev	Insolação	Classe_Insol
Até 900	1	Plano	1	Alta	1
> 900 – 950	2	Suav. ond.	2	M/A	2
> 950 – 1.000	3	Ondulado	3	Média	3
> 1.000 – 1.050	4	Fort. ond.	4	M/B	4
> 1.050	5	Montanhoso	5	Baixa	5

Características espectrais			
SAVI	Classe_SAVI	IAF	Classe_IAF
Até 0,80	1	Até 0,60	1
> 0,80 – 0,85	2	> 0,60 – 0,70	2
> 0,85 – 0,90	3	> 0,70 – 0,80	3
> 0,90 – 0,95	4	> 0,80 – 0,90	4
> 0,95	5	> 0,90	5

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 13 apresenta a matriz da correlação de *Pearson* destes parâmetros aplicados aos fragmentos florestais.

Tabela 13. Correlação entre as classes dos parâmetros analisados

Correlação	C_Tamanho	C_IEA	C_Altitude	C_Relevo	C_Insolação	C_SAVI	C_IAF
C_Tamanho	1						
C_IEA	-0,021	1					
C_Altitude	0,303	0,298	1				
C_Relevo	0,310	0,268	0,582	1			
C_Insolação	-0,066	0,074	-0,089	0,126	1		
C_SAVI	0,380	0,270	0,797	0,782	-0,031	1	
C_IAF	0,219	0,191	0,745	0,685	-0,094	0,910	1

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que as melhores correlações foram entre os índices de vegetação, SAVI e IAF, seguidos da correlação entre estes índices com as classes de altitude e de relevo, respectivamente. Este diagnóstico vai ao encontro dos resultados de pesquisas que mostram que a posição, nas quais os fragmentos florestais se encontram, é diretamente relacionada ao histórico de perturbação, onde os maiores valores apresentados pelos índices de vegetação estão localizados nas áreas mais elevadas e com relevo mais acentuado, apresentando maior proteção dessas áreas (CUNHA *et al.*, 2012; ABDALLA; CRUZ, 2015).

A partir disso, os fragmentos florestais que foram selecionados para a avaliação em campo apresentam diferentes tamanhos, características físicas do terreno e características espectrais. Ao todo, foram identificados 53 fragmentos que estavam totalmente inseridos no limite territorial da bacia hidrográfica. Aqueles que apresentaram características avaliadas como espacialmente semelhantes, foram escolhidos para a avaliação em campo de acordo com a viabilidade de acesso, resultando em 14 fragmentos florestais avaliados.

A Tabela 14 apresenta as características avaliadas espacialmente dos fragmentos florestais selecionados para a avaliação.

Tabela 14. Fragmentos selecionados para avaliação em campo da BHRMP, Ibiúna, SP

Id	Área (ha)	Altitude média		Forma do relevo		SAVI médio		IAF médio	
2	5,18	995,68	3	Fort. ond.	4	1,00	5	1,01	5
4	5,27	913,76	2	Ondulado	3	0,89	3	0,75	3
17	6,58	854,80	1	Suav. ond.	2	0,76	1	0,55	1
24	8,69	905,06	2	Ondulado	3	0,84	2	0,65	2
25	9,80	922,01	2	Fort. ond.	4	0,93	4	0,74	3
34	14,70	864,17	1	Ondulado	3	0,80	2	0,60	1
40	20,35	906,25	2	Ondulado	3	0,90	4	0,72	3
41	21,84	977,81	3	Fort. ond.	4	1,00	5	0,93	5
46	29,86	937,76	2	Fort. ond.	4	0,93	4	0,75	3
53	43,28	867,90	1	Ondulado	3	0,83	2	0,64	2
56	74,42	949,61	2	Fort. ond.	4	0,94	4	0,79	3
61	107,41	892,34	1	Ondulado	3	0,86	3	0,65	2
62	118,01	881,31	1	Ondulado	3	0,84	2	0,63	2
71	418,57	985,32	3	Fort. ond.	4	0,96	5	0,81	4

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 15 apresenta as coordenadas dos pontos de entrada dos fragmentos florestais avaliados em campo e a Figura 30 apresenta a distribuição espacial destes fragmentos com os respectivos pontos. Estes pontos de entrada foram de onde partiram os caminhamentos no interior dos fragmentos florestais para a avaliação dos seus estágios de sucessão, a partir do

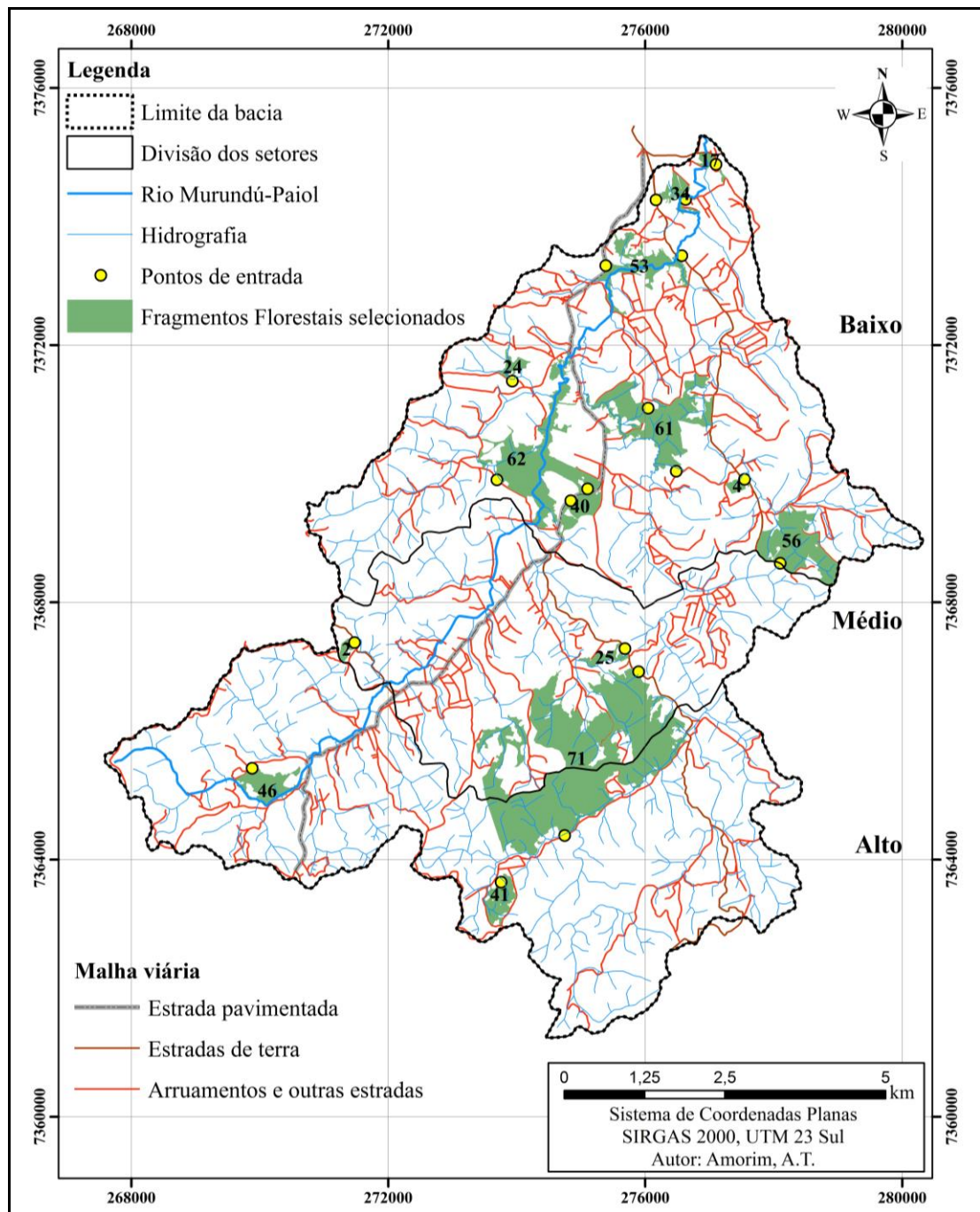
levantamento ecológico que priorizou a descrição qualitativa dos diversos fatores indicativos dos estágios de sucessão.

Tabela 15. Coordenadas dos pontos de entradas dos fragmentos florestais avaliados em campo da BHRMP, Ibiúna, SP

ID do fragmento	Pontos de entrada	
	Longitude X - oeste	Latitude Y - sul
2	271478	7367370
4	277549	7369910
17	277105	7374808
24	273933	7371438
25	275687	7367277
34	276631	7374260
	276171	7374254
40	274844	7369576
41	273760	7363647
46	269885	7365418
53	276572	7373386
	275388	7373233
56	278103	7368604
61	276048	7371017
	276485	7370036
62	273695	7369902
	275106	7369761
71	275900	7366917
	274748	7364372

Fonte: Autoria própria.

Figura 30. Fragmentos florestais e pontos de entrada dos fragmentos florestais avaliados em campo da BHRMP, Ibiúna, SP



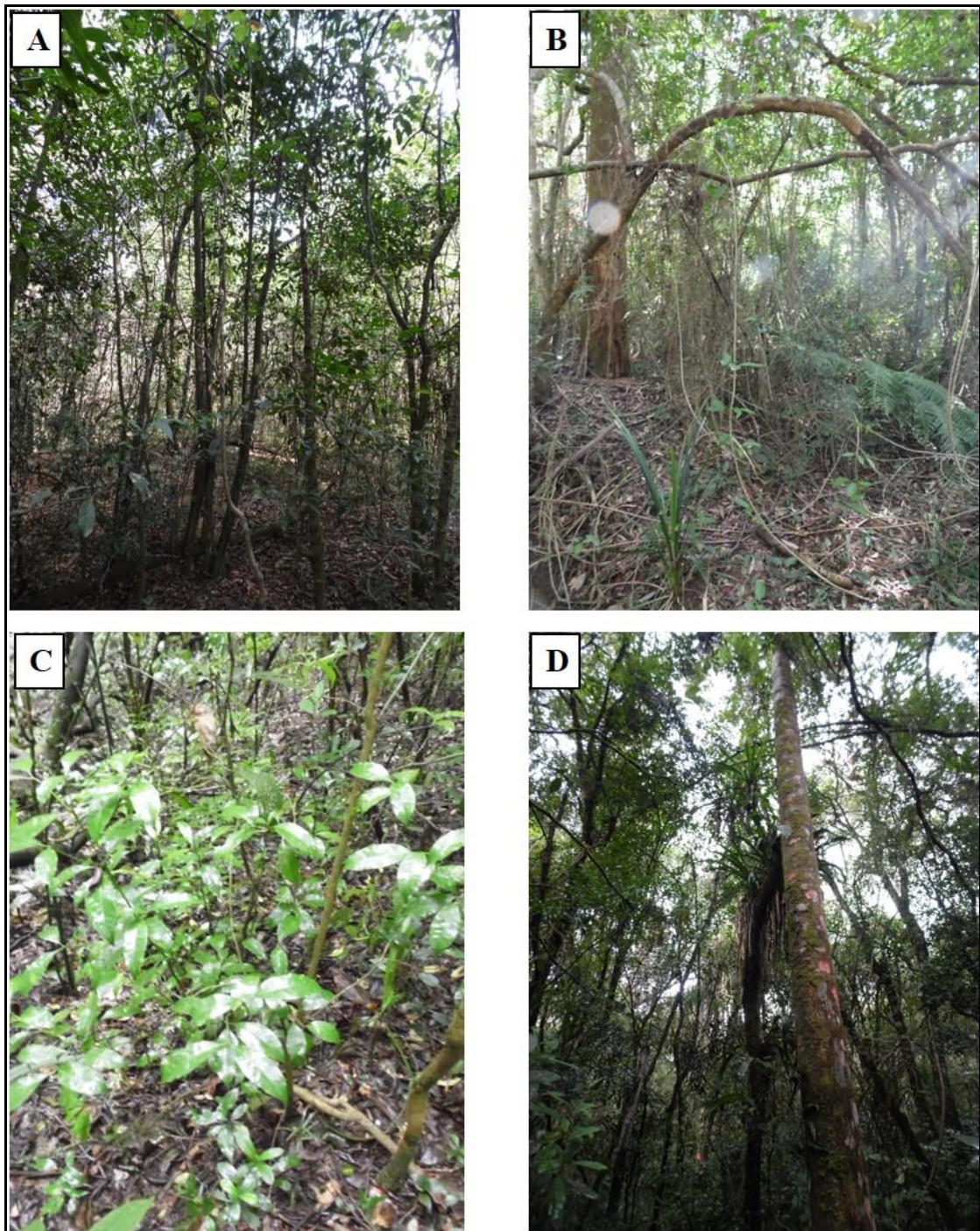
Em campo, os fragmentos 17, 24, 34, 40, 53 e o 62 foram avaliados em estágio inicial de regeneração. Em geral estes fragmentos apresentaram as características qualitativas muito semelhantes. Estes fragmentos possuem poucos indivíduos bem desenvolvidos; uma abundância de indivíduos de pequeno porte (menores que 1,5 metros de altura), pouco desenvolvidos e com baixa diversidade de espécies, ocorrendo bastante infiltração de luz,

devido a abertura de clareiras e dossel ser descontínuo. A serapilheira, quando presentes, apresenta finas camadas e pouco decompostas.

Esses fragmentos, pelo fato de se encontrarem em estágio inicial, apresentam baixa ocorrência de epífitas, ocorrendo em sua maioria musgos e líquens, e baixa ocorrência de trepadeiras, devido a reduzida condição para espécies mais complexas e mais desenvolvidas se instalarem.

A Figura 31 apresenta as principais características destacadas no estágio inicial, dos fragmentos florestais da BHRMP.

Figura 31. Exemplos dos fragmentos em estágio inicial da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal.

Legenda: **A:** fisionomia e estratos pouco desenvolvidos predominantes; **B:** abertura de clareiras e fina camada de serapilheira; **C:** indivíduos em regeneração pouco desenvolvidos; **D:** epífitas predominantes (musgos e líquens).

Ao observar a Tabela 14, verificou-se que estes fragmentos em estágio inicial, estão situados em menores altitudes (de 854,80 a 906,25 metros) e inseridos em formas de relevo suavemente ondulados e ondulados, variando entre 3 e 20% de declividade. Quanto aos

índices de vegetação, com exceção do fragmento 40, os fragmentos neste estágio variam de 0,76 e 0,84 em relação ao SAVI; e de 0,55 a 0,65 em relação ao IAF.

O fragmento 40, que apesar de apresentar uma média de 0,90 do SAVI e um IAF de 0,72, exibindo densidade de vegetação relativamente alta quanto aos índices de vegetação, foi considerado em estágio inicial de regeneração devido à intensa presença da espécie exótica e invasora *Bambuseae* (bambu), tanto na sua borda quanto no interior do fragmento (Figura 32).

Figura 32. Intensa presença de bambu no interior do Fragmento 40 da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal.

O bambu é uma espécie exótica invasora, indicadora de degradação, que compromete no desenvolvimento da regeneração natural das espécies nativas. São agressivos ao fragmento, pois possuem alta capacidade de dispersão vegetativa, sendo capaz de se desenvolver no interior de matas nativas (FILGUEIRAS, 1988; PASTORE *et al.*, 2012). Lacerda e Kellermann (2017), afirmam que no estágio inicial de regeneração, os bambus desenvolvem-se competindo com as espécies arbóreas, o que compromete nos demais estágios de regeneração do fragmento florestal.

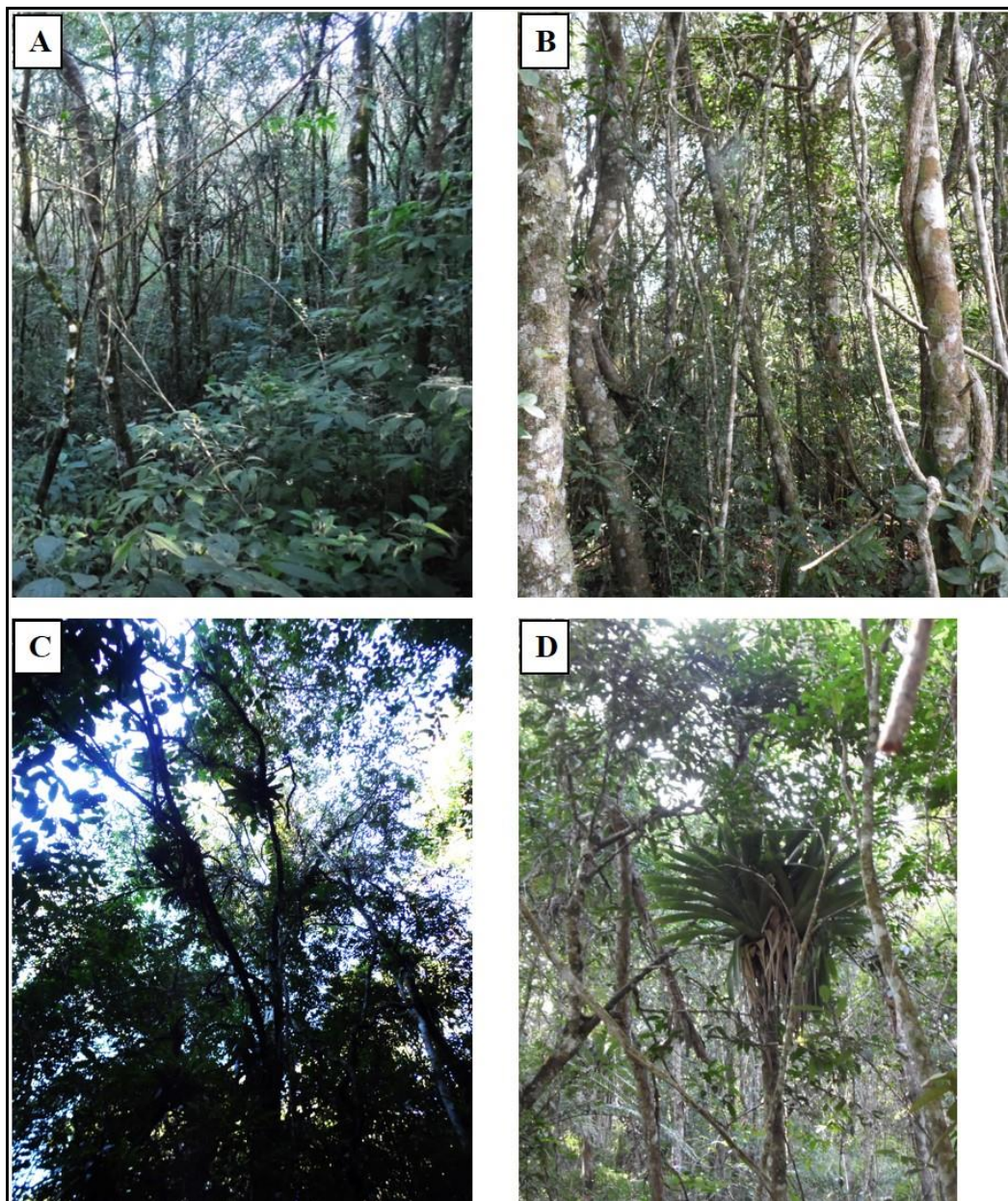
Os fragmentos 2, 4, 25, 46, 56 e o 61 foram avaliados em estágio médio de regeneração. Estes fragmentos apresentam uma variedade de estratos arbóreos e sub-bosque mais desenvolvido, com uma variedade de espécies regenerantes. Em geral, o dossel destes fragmentos apresenta-se mais contínuos, ocorrendo menor abertura de clareiras no seu

interior, o que contribui com uma maior taxa umidade do solo e ocorrência de serapilheira com variações de espessuras e em processo de decomposição.

Neste estágio, os fragmentos apresentam maior diversidade de espécies e apresentam-se mais desenvolvidas, contribuindo com a instalação em maior número e espécies de epífitas, como as bromélias (*Bromeliaceae*), e maior ocorrência de trepadeiras do tipo lenhosa.

A Figura 33 mostra as principais características destacadas no estágio médio, dos fragmentos florestais da BHRMP.

Figura 33. Exemplos dos fragmentos em estágio médio da BHRMP, Ibiúna, SP



Fonte: Acervo pessoal.

Legenda: **A:** sub-bosque mais desenvolvido e variedade de espécies; **B:** presença de trepadeiras do tipo lenhosas; **C:** distribuição mais contínua das copas; **D:** epífita (bomélia) bem desenvolvida.

Ao observar a Tabela 14, verificou-se que estes fragmentos em estágio médio de regeneração, estão situados em altitudes médias de 892,34 a 950 metros, com exceção ao fragmento 2 que se encontra em uma altitude média de 995,68 metros. Estes fragmentos estão inseridos em formas de relevo que variam de ondulados a fortemente ondulados, com declividades entre 8 e 45% de inclinação.

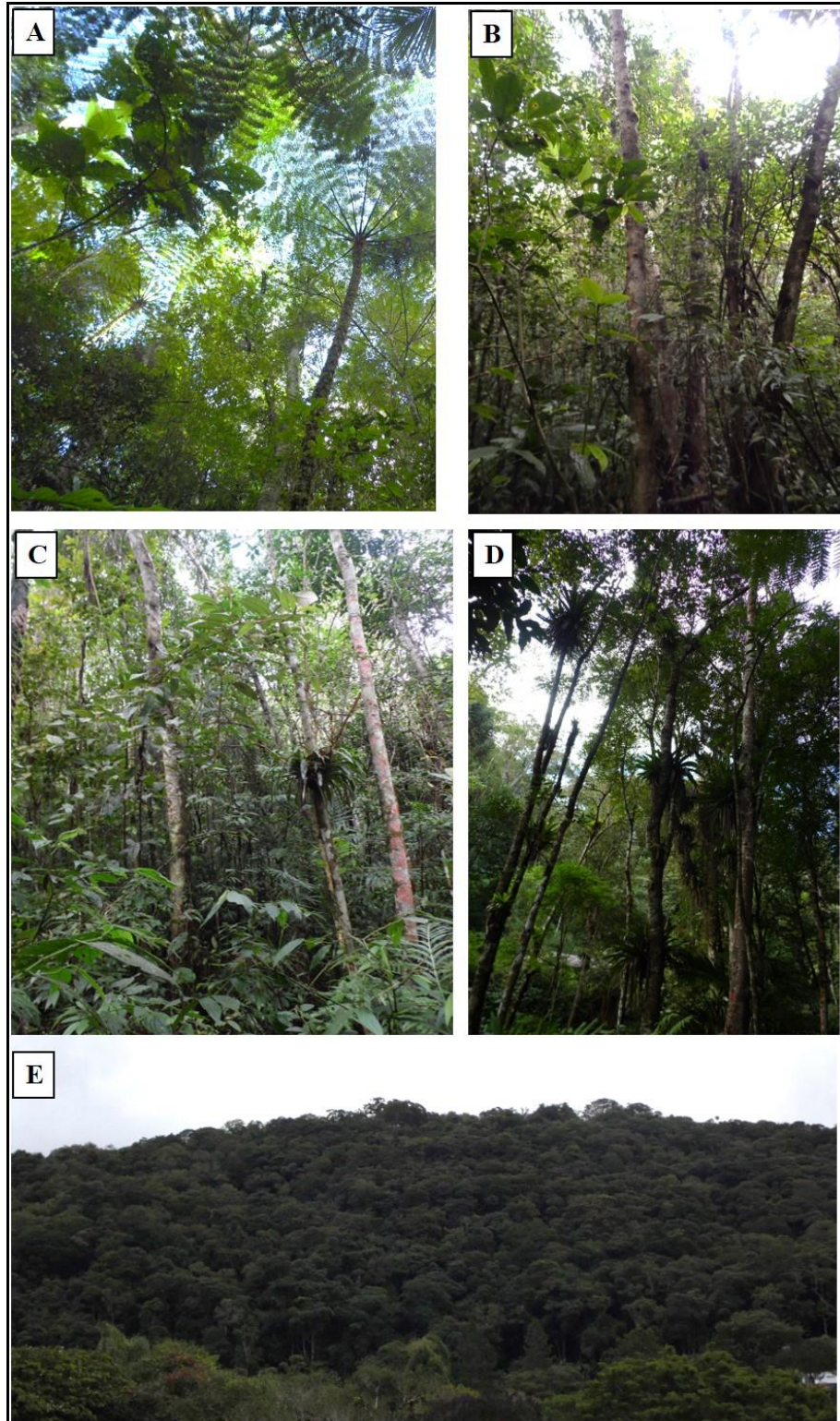
Quanto aos índices de vegetação, com exceção ao fragmento 2, os fragmentos variam de 0,86 e 0,94 em relação ao SAVI e de 0,65 a 0,79 em relação ao IAF. O fragmento 2 apresenta média de 1,00 do SAVI, e IAF de 1,01, exibindo índices de vegetação característicos de estágio mais avançado, porém apesar destas características e de estar sob uma altitude mais elevada, este fragmento não possui as características qualitativas relacionadas ao estágio avançado de regeneração.

Os fragmentos 41 e 71 foram avaliados em estágio avançado de regeneração. Estes fragmentos apresentam alta diversidade biológica devido à complexidade estrutural dos fragmentos e a alta diversidade de espécies. Os sub-bosques se mostraram bem desenvolvidos, ocorrendo uma variedade de estratos arbóreos com dossel fechado e contínuo, não ocorrendo aberturas de clareiras.

Quanto às epífitas, estas estão presentes em maior número de indivíduos e de espécies, as trepadeiras são lenhosas e mais desenvolvidas e as serapilheiras apresentam-se mais espessas e em decomposição.

A Figura 34 apresenta as principais características do estágio avançado, dos fragmentos florestais da BHRMP.

Figura 34. Exemplos dos fragmentos em estágio avançado da BHRMP, Ibiúna, SP



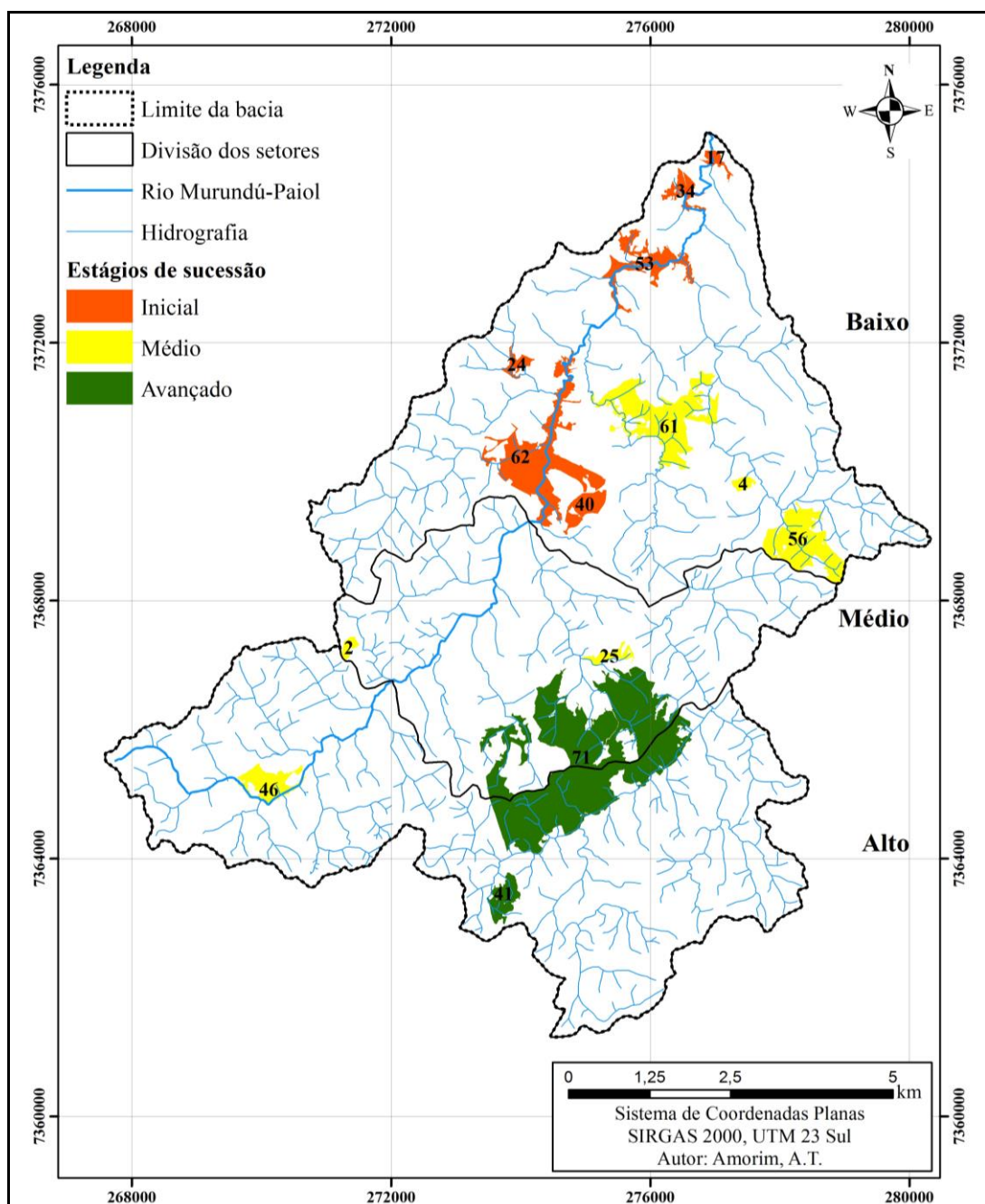
Fonte: Acervo pessoal.

Legenda: **A, B, C:** alta diversidade de espécies; **B, C:** sub-bosques bastante desenvolvidos e alta variedade de estratos; **C, D:** epífitas em maior número de ocorrência e de espécies; **E:** distribuição contígua das copas.

Ao observar a Tabela 14, verificou-se que estes fragmentos em estágio avançado de regeneração, estão situados em altitudes médias acima de 950 metros e apresentam formas de relevo fortemente ondulados, com declividades entre 20 e 45% de inclinação. Quanto aos índices de vegetação, estes fragmentos variam de 0,96 e 1,00 em relação ao SAVI, e de 0,81 a 0,93 em relação ao IAF.

A Figura 35 apresenta a distribuição espacial dos fragmentos avaliados em campo na BHRMP, com relação aos seus estágios de sucessão.

Figura 35. Distribuição espacial dos fragmentos florestais avaliados em campo da BHRMP, Ibiúna, SP



5.6 Sistema de Avaliação dos Estágios de Sucessão dos Fragmentos Florestais

Foi elaborado um sistema de avaliação dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais, referente ao Indicador do Estágio de Sucessão (IES), segundo a Equação 8. Ao considerar que os índices de vegetação SAVI e IAF são índices representativos da qualidade estrutural dos fragmentos florestais e possuem forte correlação entre si, utilizou-se o SAVI como componente da equação, uma vez que este apresentou melhor correlação com as características físicas do terreno, referentes à altitude e ao relevo.

$$IES = \frac{C_{ALT} + C_{REL} + (2 * C_{SAVI})}{4} \quad [8]$$

Onde: C_{ALT} – Classe de altitude;

C_{REL} – Classe de relevo; e

C_{SAVI} – Classe do SAVI.

O IES varia de 1 a 5, uma vez que se trata de uma média ponderada onde os três fatores integrantes da equação variam de 1 a 5. As classes do SAVI possuem peso 2 na equação, pois este parâmetro trata-se de um índice representativo da qualidade e vigor vegetativo, que é capaz de caracterizar a estrutura da vegetação e monitorar os fragmentos florestais a partir da sua resposta espectral.

A partir da aplicação do IES e da avaliação dos estágios em campo, foi possível a definição dos intervalos representativos dos estágios inicial, médio e avançado de sucessão dos fragmentos florestais, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16. Intervalo do IES e estágios de sucessão

Intervalos (IES)	Estágio de Sucessão
1 a 2,25	Inicial
> 2,25 a 3,5	Médio
> 3,5 a 5	Avançado

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 17 apresenta o IES aplicado em todos os fragmentos florestais inseridos na área de estudo e seu respectivo estágio de sucessão de acordo com o indicador proposto.

Tabela 17. Indicador dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais da BHRMP, Ibiúna, SP

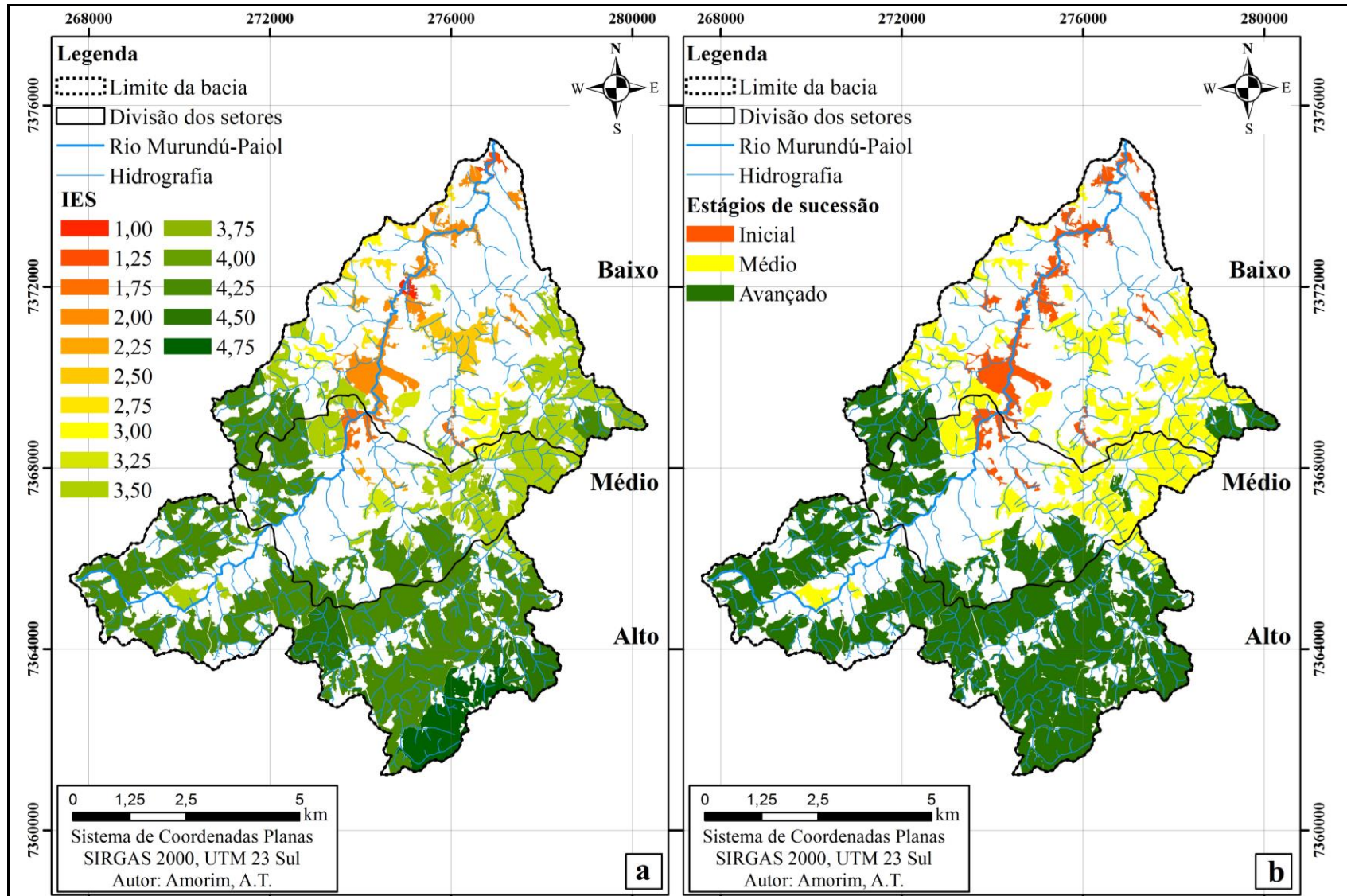
Id	C _{ALT}	C _{REL}	C _{SAVI}	IES	Estágio	Id	C _{ALT}	C _{REL}	C _{SAVI}	IES	Estágio
1	1	1	1	1,00	Inicial	37	2	4	4	3,50	Médio
2	3	4	5	4,25	Avançado*	38	2	4	4	3,50	Médio
3	2	4	4	3,50	Médio	39	2	4	3	3,00	Médio
4	2	3	3	2,75	Médio	40	2	3	4	3,25	Médio*
5	2	3	4	3,25	Médio	41	3	4	5	4,25	Avançado
6	2	4	3	3,00	Médio	42	2	3	3	2,75	Médio
7	1	4	2	2,25	Inicial	43	4	4	5	4,50	Avançado
8	1	1	1	1,00	Inicial	44	2	4	4	3,50	Médio
9	1	2	3	2,25	Inicial	45	2	3	4	3,25	Médio
10	4	4	5	4,50	Avançado	46	2	4	4	3,50	Médio
11	2	4	4	3,50	Médio	47	3	4	4	3,75	Avançado
12	4	4	5	4,50	Avançado	48	2	4	4	3,50	Médio
13	2	3	4	3,25	Médio	49	1	2	2	1,75	Inicial
14	1	2	1	1,25	Inicial	50	5	4	5	4,75	Avançado
15	2	5	5	4,25	Avançado	51	3	4	5	4,25	Avançado
16	2	4	3	3,00	Médio	52	3	4	5	4,25	Avançado
17	1	2	1	1,25	Inicial	53	1	3	2	2,00	Inicial
18	2	4	4	3,50	Médio	54	3	4	5	4,25	Avançado
19	2	3	3	2,75	Médio	55	2	4	4	3,50	Médio
20	2	4	4	3,50	Médio	56	2	4	4	3,50	Médio
21	1	3	2	2,00	Inicial	57	2	4	3	3,00	Médio
22	2	4	3	3,00	Médio	58	4	4	5	4,50	Avançado
23	2	3	3	2,75	Médio	59	3	4	5	4,25	Avançado
24	2	3	2	2,25	Inicial	60	2	4	4	3,50	Médio
25	2	4	4	3,50	Médio	61	1	3	3	2,50	Médio
26	2	3	3	2,75	Médio	62	1	3	2	2,00	Inicial
27	2	4	5	4,00	Avançado	63	3	4	5	4,25	Avançado
28	2	4	5	4,00	Avançado	64	4	4	5	4,50	Avançado
29	1	3	2	2,00	Inicial	65	3	4	5	4,25	Avançado
30	1	2	2	1,75	Inicial	66	5	4	5	4,75	Avançado
31	3	4	5	4,25	Avançado	67	2	4	4	3,50	Médio
32	2	4	4	3,50	Médio	68	2	4	4	3,50	Médio
33	2	4	5	4,00	Avançado	69	3	4	5	4,25	Avançado
34	1	3	2	2,00	Inicial	70	3	4	5	4,25	Avançado
35	1	3	2	2,00	Inicial	71	3	4	5	4,25	Avançado
36	1	3	2	2,00	Inicial	72	3	4	5	4,25	Avançado

Fonte: Autoria própria.

Legenda: os estágios dos fragmentos apresentados com ‘*’ apresentaram divergência com a avaliação em campo.

A Figura 36a-b apresenta o mapa da distribuição espacial dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais segundo a metodologia proposta.

Figura 36. Mapa dos estágios de sucessão dos fragmentos florestais segundo o IES da BHRMP, Ibiúna, SP



A partir do IES observa-se que dos 72 fragmentos florestais (4.275,09 ha), 16 são indicativos de estágio inicial (322,61 ha), 31 de estágio médio (1.207,90 ha) e 25 de estágio avançado de sucessão (2.744,58 ha). De maneira geral, observa-se na Figura 36b que os fragmentos florestais em estágios avançados de sucessão estão predominantemente no setor alto da BHRMP e os fragmentos em estágios inicial e médio estão predominantemente no setor baixo, corroborando com as análises realizadas anteriormente.

Cabe ressaltar que dos 14 fragmentos avaliados em campo, 12 estão de acordo com o IES, uma vez que o fragmento 40 foi classificado em estágio inicial por apresentar intensa presença de bambu (espécie exótica e invasora) e o fragmento 2 que foi avaliado em estágio médio em campo, mas apresentou um IES característico de estágio avançado, demonstrando uma acurácia de 85,7% segundo a metodologia proposta. Portanto, a aplicação do IES pode ser uma alternativa científica viável e eficiente na observação e avaliação dos estágios de sucessão de fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica, de forma rápida e de baixo custo operacional, podendo desta forma, contribuir com pesquisas e programas de análise e gestão dos recursos florestais.

6. CONCLUSÕES

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi de grande importância para a compreensão da sua distribuição espacial em uma bacia hidrográfica, contribuindo para a observação de um panorama geral da área de estudo. A partir dele foi possível observar importantes variações na fragmentação da paisagem bem como as áreas mais preservadas da BHRMP. Além disso, este mapeamento serviu para a extração dos fragmentos florestais para posterior avaliação dos parâmetros que interferem em sua dinâmica, como as métricas, o efeito antrópico no seu entorno, às condicionantes físicas de altitude, relevo e orientação do terreno e, bem como, a avaliação das características espectrais a partir dos índices de vegetação.

Dentre os fatores que interferem na dinâmica dos fragmentos florestais, apenas as características físicas do terreno relacionadas à altitude e relevo obtiveram boa correlação com os índices de vegetação SAVI e IAF, confirmando que essas características apresentam uma influência direta na qualidade e nas condições de regeneração dos fragmentos florestais. Entretanto, o SAVI foi o índice que apresentou melhor correlação com a altitude e relevo, sendo estes os fatores integrantes no sistema de avaliação proposto.

A avaliação dos fragmentos florestais em campo, que priorizou a descrição de parâmetros qualitativos a partir de um levantamento ecológico, foi efetiva e condizente com os parâmetros analisados espacialmente. Os fragmentos avaliados em estágio inicial de regeneração estão situados em altitudes mais baixas, declives mais amenos e apresentam as menores médias em relação aos índices de vegetação; enquanto os fragmentos avaliados em estágio avançado, estão situados em altitudes mais elevadas, declives mais acentuados e exibiram as maiores médias quanto aos índices de vegetação.

Recomenda-se cuidado ao avaliar os estágios de sucessão espacialmente, já que pode ocorrer, assim como observado no fragmento 40, a presença de espécies exóticas e invasoras que interferem e prejudicam no processo de regeneração natural dos fragmentos florestais e em prováveis análises desse tipo.

Cabe ressaltar que a proposta metodológica pode ser replicada em outras áreas do bioma Mata Atlântica, onde se tenha como objetivo avaliar as condições do desenvolvimento florestal, com rapidez e baixo custo operacional.

Por fim, essa pesquisa demonstrou que a utilização de geotecnologias e modelagem matemática ambiental permite estudar os fragmentos florestais, priorizando o conhecimento dos estágios de sucessão. Deste modo, espera-se que essa pesquisa possa contribuir com o planejamento e gestão ambiental dos recursos florestais, uma vez que essa avaliação pode exercer o papel de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa, bem como na efetividade de planejamento e recuperação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, L. S.; CRUZ, C. B. M. Análise de fragmentação florestal no município de Silva Jardim, APA do Rio São João, RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, p. 169-184, 2015.
- ACCIOLY, L. J.; PACHECO, A.; COSTA, T. C. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 492-498, 2002.
- AHAMED, T.; TIAN, L.; ZHANG, Y; TING, K. C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2455-2469, 2011.
- ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WARTES, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**, Idaho implementation - Advanced training and users manual, version 1.0, 2002, 97 p.
- AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.575-582, 2009.
- AMORIM, A. T.; MONTANHER, O. C. Mapeamento da planície de inundação do rio Ivaí/pr em seu curso inferior e médio por meio de sensoriamento remoto. *In: IV SBG - Simpósio Brasileiro de Geomática e II Jornadas Lusófonas sobre Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica/CTIG, 2017, Presidente Prudente-SP. Anais... Presidente Prudente: Unesp, 2017. v. 2. p. 295-299.*
- AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. 178f. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, São Paulo, 2017.
- ARAÚJO F. S.; MARTINS, S. V.; MEIRA NETO, J. A. A.; LANI, J. L.; PIRES, I. E. Estrutura da Vegetação Arbustivo-Arbórea Colonizadora de uma Área Degradada por Mineração de Caulim, Brás Pires, MG. **Revista árvore**, Viçosa-MG, v.30, n. 1, p. 107-116, 2006.
- ARMANI, G. **Análise topo e microclimática tridimensional em uma microbacia hidrográfica de clima tropical úmido de altitude**. 2009. 134f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014.
- BALESTRINI R.; ARESE, C.; DELCONTE, C. A.; LOTTI, A.; SALERNO, F. Nitrogen removal in subsurface water by narrow buffer strips in the intensive farming landscape of the Po River watershed, Italy. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 148-157, 2011.

BARBOSA, J. H. C.; FARIA, S. M. Aporte de serapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de poço das antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57, n.3, p. 461-476, 2006.

BATAGHIN, F. A.; BARROS, F.; PIRES, J. S. R. Distribuição da comunidade de epífitas vasculares em sítios sob diferentes graus de perturbação na Floresta Nacional de Ipanema, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.33, n.3, p. 501-512, 2010.

BENNETT, B. C. Patchiness, diversity, and abundance relationships of vascular epiphytes. **Selbyana** (Journal Article), v. 9, n. 1, p. 70-75, 1986.

BISPO, P.C.; VALERIANO, M.M.; KUPLICH, T.M. Variáveis geomorfométricas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO). **Acta Amazonica**, v.39, n.1, p. 81-90, 2009.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p. 329-343, 2002.

BOLFE, É. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais**. 2010. 319f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2010.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2012.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2000.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. **Revista Percorso – NEMO**. Maringá, v. 7, n. 2, p. 05-22, 2015.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford Science Publications, 1986. 193 p.

CALEGARI, L., MARTINS, S. V., GLERIANE, J. M., SILVA, E.; BUSATO, L. C. 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.

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: 14 fev. 2018.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. *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/cap2-conceitos.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2018.

CAMPOS, M.; ALEXANDRINO, R. F.; CAMPOS, S.; SILVA, I. G. Geoprocessamento Aplicado no Conflito do Uso da terra em Áreas de Preservação Permanente na Microbacia do Córrego Três Barras Botucatu (SP). **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 4, p. 378-382, 2015.

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Avaliação das áreas queimadas no estado de Rondônia - Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, p. 705-716, 2014.

CBH. Comitê de Bacias Hidrográficas. **Nossas Águas**. Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Sorocaba e Médio Tietê, Sorocaba. 2012.

CEPAGRI. 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: 05 nov. 2017.

CHOAT, B. *et al.* Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**, v. 491, p. 752-755, 2012.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. **Série histórica de pluviosidade mensal de Ibiúna – SP**. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>. Acesso em: 05 nov. 2017.

CINTRA, D. P. **Classificação de estágios sucessionais florestais por meio de imagens de alta resolução (Ikonos) no Parque Estadual da Pedra Branca, RJ**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2007.

COELHO, G. C.; RIGO, M. S.; LIBARDONI, J. B.; OLIVEIRA, R.; BENVENUTI-FERREIRA, G. Understory structure in two successional stages of a Semi-deciduous Seasonal Forest remnant of Southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 63-74, 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 1 de 31 de janeiro de 1994**. Define vegetação primária e secundária nos estágios pioneiro, inicial e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa no Estado de São Paulo. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 1994.

CORLETT, R. What is secondary forest?. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, p. 445-447, 1994.

CORRÊA, M. P.; FRANCELINO, M. R. Avaliação da influência da radiação na regeneração natural de Mata Atlântica. *In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa-PB. Anais...* INPE: João Pessoa-PB, Brasil, 2015. p. 6445-6450.

COSTA, T. A.; GASPAR, R. O.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L.; MARIA, A. C. S.; AMARO, M. A. Avaliação de estágios sucessionais em um fragmento de mata natural de acordo com a resolução n. 392 do CONAMA e sua correlação com imagem Ikonos CCD. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba-PR. Anais...* INPE: Curitiba-PR, Brasil, 2011. p. 2091-2096.

COUTINHO, L. M. O conceito de Bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 13-24, 2006.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:750.000. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2006.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba-PR. Anais...* INPE: Curitiba-PR, Brasil, 2011. p. 1357-1364.

CUNHA, J. E. B. L.; *et al.* Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539-548, 2012.

DEMARCHI J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RA'E GA**, v. 21, p. 234-271, 2011.

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 à 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 01-27, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

ENGEL, V. L.; OLIVEIRA, R. E. Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 43-64, 1998.

EPIPHIANO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto de três parâmetros biofísicos de trigo e de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 26, n. 10, p. 1615-1624, 1991.

ERCANOGLU, M; GOKCEOGLU, C. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. **Environmental Geology**, v. 41, n. 6, p. 720-730, 2002.

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ESPIG, D. B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.5, p. 949-956, 2009.

ESRI. Economic and Social Research Institute. **ArcGis 10.5**. 2016.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, v. 57, n. 1, p. 01-32, 1991.

FILGUEIRAS, T. S. A floração dos bambus e seu impacto ecológico. **Eugeniana**, v.15, p. 01-8, 1988.

FINEGAN, B. Forest Succession. **Nature**. v. 312, n. 8, p. 109-144, 1984.

FONSECA, R. C. B.; FONSECA, I. C. B. Utilização de métodos estatísticos multivariados na caracterização do mosaico sucessional em floresta semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 351-359, 2004.

FORESTRY COMMISSION. **Woodland area, planting and restocking**. 2015. Disponível em: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/WAPR2015.pdf/\\$FILE/WAPR2015.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/WAPR2015.pdf/$FILE/WAPR2015.pdf). Acesso em 2 mai. 2017.

GALVÍNCIO, J. D. **Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental**. Recife - PE: Editora Universitária – UFPE, 2012. 150 p.

GAMEIRO, S *et al.* Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **TERRAE**, v. 13, p. 15-22, 2016.

GENTRY, A. H. 1991. The distribution and evolution of climbing plants. *In*: F. E. Putz & H.A. Mooney (eds.). **The Biology of Vines**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 3-49.

GFW. Global Forest Watch. **Forest monitoring designed for action**. 2017. Disponível em: <http://www.globalforestwatch.org/>. Acesso em 20 dez. 2017.

GLENN-LEWIN, D. C.; MAAREL, E. V. D. Pattern and process of vegetation dynamics. *In*: Glenn-Lewin, DC, Peet R.K. e Veblen TT. (eds). **Plant Succession: theory and prediction**. Chapman & Hall, 1992.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295- 309, 1988.

IAC. Instituto Agrônomo de Campinas. **Solos do Estado de São Paulo**, Latossolos. 2014. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Latossolos.pdf>. Acesso em 05 de maio de 2018.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Conceitos de estágios sucessionais de uma formação florestal**. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-479.html>. Acesso em 02 de maio de 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências, Informações Ambientais, Geomorfologia**. Atualização: 2006. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 27 de novembro de 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE cidades**. 2017. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/ibiuna/panorama>. Acesso 14 out. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**. IBGE, Brasília, 2004.

IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico. **Carta topográfica**. Serviço Gráfico do IGC, 1979. Escala 1:10.000.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. AMBDATA (Variáveis Ambientais para Modelagem de Distribuição de Espécies). **Exposição ou Orientação**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/exposicao_orientacao.php. Acesso em: 23 de maio de 2018.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Plano de bacia dos rios Sorocaba e médio Tietê**. São Paulo: IPT, 2008. 352 p.

JAMALI, S.; SEAQUIST, J.; EKLUNDH, L.; ARDÖ, J. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 141, p. 79-89, 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2ª ed., São José dos Campos/SP: Parêntese, 2009. 598 p.

JESUS, E. N.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G.; SANTOS, T. I. S.; ROCHA, S. L. Estrutura dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.3, p. 467-474, 2015.

KENNEL, E.; HUBBART, J. A.; IKEM, A. A comparison of forest and agricultural shallow groundwater chemical status a century after land use change. **Science of the Total Environment**, v. 529, p. 82-90, 2015.

LACERDA, A. E. B.; KELLERMANN, C. Bambus nativos como espécies invasoras no sul do Brasil. *In*: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. ed., Rio de Janeiro: ICH, 2017, 659 p.

LANA, J. M.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A.; SOARES, V. P.; FERNANDES FILHO, E. I. Análise dos estágios de sucessão de áreas de Mata Atlântica sob a influência de plantações florestais, Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.4, p. 733-743, 2010.

LEITE, M. E.; ROSA, R. Geografia e geotecnologias no estudo urbano. **Caminhos de Geografia (UFU)**, v. 17, p. 180-186, 2006.

LIMA FILHO, D. A.; REVILLA, J.; COÊLHO, L. S.; RAMOS, J. F.; SANTOS, J. L.; OLIVEIRA, J. G. Regeneração natural de três hectares de floresta ombrófila densa de terra firme na região do Rio Urucu-AM, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 32, n. 4, p. 555-569, 2002.

LIMA, A. M.; MARIANO, Z. F. Análise microclimática no interior e fora das florestas estacionais semidecíduais na área da bacia da usina hidrelétrica de Caçu-GO. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 27, p. 67-87, 2014.

LIMA, D. R. M.; DLUGOSZ, F. L.; IURK, M. C.; PESCK, V. A. Uso de NDVI e SAVI para Caracterização da Cobertura da Terra e Análise Temporal em Imagens RapidEye. **Revista Espacios**, v. 38, n. 36, p. 7-22, 2017.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciências da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 560 p.

LOPES, E. R. N.; REUSS-STRENZEL, G. M. Geoprocessamento aplicado ao monitoramento da ocupação de unidades de conservação – um olhar sobre a Área de Proteção Ambiental de Guaibim. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 3, p. 43-59, 2015.

LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Modelagem ambiental de bacias hidrográficas: caracterização morfométrica e pedológica da bacia do rio Una, Ibiúna, Brasil. **GEOSUL (UFSC)**, v. 33, p. 105-127, 2018.

LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C., LOURENÇO, R. W.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Análise temporal e espacial da vegetação no entorno do Reservatório de Itupararanga, São Paulo, utilizando parâmetros de sensoriamento remoto. *In: 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2016, Bento Gonçalves-RS. Anais...* Bento Gonçalves-RS, Brasil, 2016. p. 1-8.

LOUMAN, B.; DAVID, Q.; MARGARITA, N. **Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmedos con énfasis en América Central**. Turrialba. Costa Rica: CATIE, 2001, 265 p.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, v.10, n.3, p. 685-698, 2014.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; CRESPO, G. C.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Geoprocessamento como ferramenta de gestão e planejamento ambiental: O caso da cobertura vegetal em áreas urbanas. *In: SMITH, W. S.; MOTA JÚNIOR, V.; LIMA, J. C. Biodiversidade do Município de Sorocaba*. 1. ed. p. 272. Secretaria Municipal do Meio Ambiente: Sorocaba. Cap. 4, p.65-78. 2014.

LOUSÃ, M; MONTEIRO, A., ESPÍRITO SANTO, D.; SOUSA, E.; COSTA, J. C. **Módulo de botânica: Manual de teóricas e práticas**. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2007. 144 p.

MAGESH, N.S.; JITHESHLAL, K.V.; CHANDRASEKAR, N.; JINI, K.V. Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. **Applied Water Sciences**, v. 3, p. 467–477, 2013.

MARQUES, O.; TIENNE, L.; CORTINES, E.; VALCARCEL, R. Atributos ambientais definidores de presença de fragmentos florestais de Mata Atlântica em microbacias instáveis. **EDUR. Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v.24, n. 2, p. 145-150, 2005.

McGLONE, J.C. **Manual of Photogrammetry**. 5ª ed., Bethesda: ASP&RS, 2004. 1151 p.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: Período de 2013-2014. FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São Paulo, 2015. 60 p.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: Período de 2015-2016. FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São Paulo, 2017. 69 p.

Microsoft Office Professional Plus (2013), **Microsoft Excel** 2013.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Fragmentação de Ecossistemas**: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. (Org.: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S.). Brasília: MMA/SBF, 2003. 510 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**: Patrimônio nacional dos brasileiros. (Org.: CAMPANILI, M; SCHAFFER). Brasília: MMA, 2010. 408 p.

MORAES, M. E. B.; GOMES, R. L.; THÉVENIN, J. M. R.; SILVA, G. S.; VIANA, W. R. C. C. Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Almada (BA) com base na fragmentação da vegetação. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 13, n. 41, p. 159-169, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2ª ed., Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NADKARNI, N. M. Diversity of species and interaction in the upper tree canopy of forest ecosystems. **American Zoologist**, v. 34, p. 70-78, 1994.

NASCIMENTO, M. C.; ANDRADE, E. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, S. A. M.; MEDEIROS, P. R. P.; OLIVEIRA, A. N. S. Mapeamento da fragmentação dos remanescentes florestais na Região Hidrográfica do Riacho Talhado, Alagoas-Brasil. *In*: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba-PR. **Anais...** INPE: Curitiba-PR, Brasil, 2011. p.4570-4577.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, P. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação nativa na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p. 389-398, 2006.

NAVE, A. G. **Determinação de unidades ecológicas num fragmento de floresta nativa, com auxílio de sensoriamento remoto**. 1999. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1999.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 7ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004. 927 p.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. Aspectos florísticos, fitossociológicos e ecológicos de um sub-bosque de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 1, p. 1-16, 2005.

OLIVEIRA, L. M. T.; SILVA, E.; BRITES, R. S.; SOUZA, A. L. Diagnóstico de fragmentos florestais nativos, em nível de paisagem, Eunápolis-BA. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.21, n.4, p. 501-510, 1997.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**. n. 30, p. 30-43, 2011.

PASTORE, M.; RODRIGUES, R. S.; SIMÃO-BIANCHINI, R.; FILGUEIRAS T. S. **Plantas exóticas invasoras na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba**, Santo André – SP: guia de campo; São Paulo: Instituto de Botânica, 2012. 46 p.

PHILIPSON, W. **Manual of Photographic Interpretation**. 2ª ed., Bethesda: ASP&RS, 1997. 555 p.

PLANET. **Planet imagery product specification**: Planetscope & Rapideye. PLANET, 2016. p.52. Disponível em: https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1611.09_Spec_Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_DraftV3.pdf. Acesso em: 01 de junho de 2018.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, EMBRAPA, 2001. p. 157-199.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

RIBEIRO, L. F.; HOLANDA, F. S. R.; ARAUJO FILHO, R. N. Indicadores ambientais para o estudo da contribuição da bioengenharia na sucessão ecológica da mata ciliar na margem direita do Rio São Francisco. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 11, n. 35, p. 222-230, 2010.

RIBEIRO, M. C.; MARTENSEN, A. C.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M.; SCARANO, F.; FORTIN, M. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: FRANK E. ZACHOS; JAN CHRISTIAN HABEL. (Org.). **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas**. Berlin: Springer-Verlag, 2011. p. 405-434.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. C.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M.. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1144-1156, 2009.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest: an ecological study**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1952. 450 p.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 6ª ed., Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2010. 534 p.

RODRIGUES, P.J.F.P.; NASCIMENTO, M.T. Fragmentação florestal e efeitos de borda. **Rodriguésia**, v. 57, n. 1, p. 63-76, 2006.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo-SP, v. 16, p. 81-90. 2005.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7ª ed., Uberlândia: EDUFU, 2009. 264 p.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia: EDUFU, 1996. 104 p.

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

SALDARRIAGA, J. G.; WEST, D. C.; THARP, M. L.; UHL, C. Long-term chronosequence of forest succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v.76, n. 4, p. 938-958, 1988.

SALES, J. C. A. *et al.* Composição do índice de exposição antrópica de fragmentos florestais da bacia hidrográfica do Rio Una, Ibiúna/São Paulo. *In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2017, Santos-SP. Anais...* INPE: Santos-SP, Brasil, 2017. p. 249-256.

SANTANA, S. H. C. DE; SILVA, E. R. A. C.; LAURENTINO, M. L. S.; MELO, J. G. DA S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação dos índices de vegetação com melhores respostas espectrais para a Mata Atlântica na cidade de São Paulo-SP. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 2, p. 200-209, 2018.

SANTOS, J. F. C.; MENDONÇA, B. A. F.; ARAÚJO, E. J. G.; ANDRADE, C. F. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre-RS, v. 15, n. 3, p. 151-158, 2017.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de textos, 2004. 184 p.

SCHORN, L. A.; GALVÃO, F. Dinâmica da regeneração natural em três estágios sucessionais de uma floresta ombrófila densa em Blumenau, SC. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 36, n. 1, p. 59-74, 2006.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SEUBERT, R. C.; MAÇANEIRO, J. P.; SCHORN, L. A.; SEBOLD, D. C. Regeneração natural em diferentes períodos de abandono de áreas após extração de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em argissolo vermelho-amarelo álico, em Brusque, Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 27, n. 1, p. 1-19, 2017.

SILVA, M. A.; RODRIGUES, M. M.; RIGHI, C. A. Cobertura de lianas no dossel florestal e seus efeitos sobre a regeneração de espécies arbóreas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 28, n. 1, p. 37-47, 2016.

SILVEIRA, C.S.; SILVA, V. V. Dinâmica de regeneração e desmatamento da vegetação provocadas por fatores climáticos e geomorfológicos: uma análise geocológica através de SIG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.6, p. 1025-1034, 2010.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. **Boletim SNIF 2016**. Ed 2. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/2231-boletim-snif-recursos-florestais-2016/file>. Acesso em 20 dez. 2017.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. **Boletim SNIF 2017**. Ed 1. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>. Acesso em 08 jan. 2018.

SOUSA, J. A. P. **Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões antrópicas de CO₂ em bacia hidrográfica**. 2018. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, São Paulo, 2018.

SOUSA, J. A. P.; LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C.; SALES, J. C. A.; PADOVANNI, N. G.; MORAIS, M. C. M.; LOURENCO, R. W. Análise temporal preliminar do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna - SP. *In: IV SBG - Simpósio Brasileiro de Geomática e II Jornadas Lusófonas sobre Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica/CTIG*, 2017, Presidente Prudente-SP: Unesp. **Anais...** Presidente Prudente: Unesp, 2017. v. 2. p. 208-212.

SOUZA, E. M. F. R.; CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S. Estágios de conservação da vegetação em área de mata atlântica a partir de imagem hiperespectral. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFF**, v. 16, n. 31, p. 101-122, 2014.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p. 849-857, 2006.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão dos recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo-SP, n. 70, p. 24-35, 2006.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned Pastures in eastern Amazônia. I. Patterns of plant succession. **Journal of Ecology**, v.76, n. 3, p. 663-681, 1988.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C G. **Topodata**: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010. 79 p.

VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.

VERVLOET R. J. H. M.; ROSS, J. L. S. Revisão dos conhecimentos sobre o relevo do Planalto Atlântico Brasileiro: incógnitas que ainda persistem. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, V. 23, p. 187-216, 2012.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais. *In: Congresso Florestal Brasileiro*, 1990, Campos do Jordão-SP. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade de Engenheiros Florestais, 1990. p. 113-118.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, São Paulo, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; MARTINS, J.L.A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. *In: Congresso Nacional Sobre Essências Nativas, 1992, São Paulo-SP. Anais...* São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, 1992. p. 400-407.

VIDAL, M. M.; PIVELLO V. R.; MEIRELLES, S. T.; METZGER, J. P. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 521-532, 2007.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Análise do desempenho dos índices de vegetação NDVI e SAVI a partir de imagens Aster. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba-PR. Anais...* INPE: Curitiba-PR, Brasil, 2011. p. 1828-1834.

WIEGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E.; GERBERMANN, A. H. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**. v. 35, n. 2, p. 105-119, 1991.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1ª ed., Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. 228 p.