

BRUNO YUJI TAKIKAWA

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ELABORAÇÃO DE INDICADOR DE
FRAGILIDADE FLORESTAL COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS**

Sorocaba
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

Ciências Ambientais

BRUNO YUJI TAKIKAWA

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ELABORAÇÃO DE INDICADOR DE FRAGILIDADE FLORESTAL COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS

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

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço

Sorocaba
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais

T136p Takikawa, Bruno Yuji
Proposta metodológica para elaboração de indicador de fragilidade florestal com o uso de geotecnologias / Bruno Yuji Takikawa. -- Sorocaba, 2020
71 f. : il., tabs., fotos, mapas

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

1. Geoprocessamento. 2. Fragilidade Florestal. 3. Antropização. 4. Mata Atlântica. 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 para elaboração de indicador de fragilidade florestal com o uso de geotecnologias

AUTOR: BRUNO YUJI TAKIKAWA

ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENÇO

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



Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO

Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba, Unesp



Prof. Dr. ADMILSON IRIO RIBEIRO

Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba



Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA

Departamento de Engenharia de Pesca / Unesp - Câmpus de Registro

Sorocaba, 23 de julho de 2020

À minha mãe (*in memoriam*), minhas
irmãs e à Rê, minha companheira para
toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha mãe (*in memorian*), que criou seus quatro filhos da melhor forma que pode, os ensinando a serem pessoas corretas e justas. Saudades...

Um agradecimento especial à Rê, minha futura esposa, a qual participou integralmente desta caminhada. Sua ajuda e sugestões e nossos momentos de descontração foram essenciais para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Roberto Wagner Lourenço (China), que mesmo sabendo de minhas dificuldades, acreditou em meu potencial e aceitou me orientar nesta caminhada, compartilhando seu conhecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciência e Tecnologia da UNESP, por proporcionar esta oportunidade.

Aos docentes e demais funcionários da UNESP de Sorocaba.

Aos companheiros do Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental (Elfany, Jomil, Jocy, Rita, Lauro, Fábio, Bruna, Hetiany e Giovana), que estiveram presentes durante estes dois anos de “bate e volta” tentando conciliar o estudo com o trabalho.

Aos amigos e familiares que entenderam (espero) minha ausência e “correria” neste período do mestrado.

A todos que estiveram presentes durante estes últimos anos e porventura eu tenha esquecido de mencionar.

*“Saiu o Semeador a semear
Semeou o dia todo
e a noite o apanhou ainda
com as mãos cheias de sementes.
Ele semeava tranquilo
sem pensar na colheita
porque muito tinha colhido
do que outros semearam.”*

(Cora Coralina)

RESUMO

A Mata Atlântica perdeu quase 88% de seu tamanho original, tendo como principais consequências a fragmentação florestal e a perda e extinção de habitats naturais. Uma das formas de se avaliar essas alterações é por meio das técnicas de Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto, que são tecnologias empregadas nas análises de dados espaciais, auxiliando em levantamentos, mapeamentos e monitoramentos de recursos naturais. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo elaborar através do uso de geoprocessamento uma metodologia para a identificação dos fragmentos florestais prioritários para ações de proteção ambiental através da fragilidade dos recursos florestais. A área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio Una, localizada no município de Ibiúna, centro-oeste do Estado de São Paulo, área inserida no Bioma Mata Atlântica. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi elaborada a base cartográfica a partir de cartas topográficas do município em escala de 1:10.000 e foi realizado o mapeamento do uso da terra. Deste mapeamento, foram identificados 27 fragmentos que passaram por um processo de remodelagem e avaliados quanto à sua fragilidade. Foram avaliados a forma (Índice de Circularidade – IC), que diz respeito à geometria dos fragmentos através da relação perímetro-área, o uso do entorno (Índice de Efeito de Borda – IEB), que calcula a influência do uso e manejo da terra adjacente aos fragmentos florestais e a condição biofísica (Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento – IQBF), gerado da análise do teor de argila e do SAVI médio. Através do método AHP (Análise Hierárquica de Processos), foram atribuídos pesos para cada índice, derivando assim no Indicador de Fragilidade Florestal (IFF). O IC mostrou que 19 fragmentos foram classificados como muito alongados e 8 como alongados. O IEB mostrou que os usos antrópicos foram os principais fatores de alteração, resultando em 5 fragmentos com alta exposição antrópica e 22 com média exposição antrópica. O IQBF identificou 2 fragmentos classificados como baixa, 23 como média e 2 como alta qualidade biofísica. Para a atribuição dos pesos de cada índice no cálculo do IFF, a AHP resultou em uma razão de consistência de 8,8%, sendo considerada satisfatória. Os valores do IFF demonstraram que o maior peso atribuído ao IEB, foi próximo de 8 vezes maior que o IC e 3 vezes maior que o IQBF, contribuindo diretamente para o resultado. Isto comprova a importância do uso da terra adjacente aos fragmentos florestais com vista à sua conservação e proteção. Por fim, a metodologia aplicada pode ser uma importante ferramenta na elaboração de ações de conservação e auxiliar no planejamento e gestão das atividades relacionadas à proteção ambiental, em especial as florestas.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Mata Atlântica. Fragmentos florestais. Proteção ambiental.

ABSTRACT

The Atlantic Forest has lost almost 88% of its original size, with the main consequences of forest fragmentation and the loss and extinction of natural habitats. One of the ways to evaluate these changes is through the techniques of Geoprocessing and Remote Sensing, which are technologies used in the analysis of spatial data, assisting in surveys, mapping and monitoring of natural resources. Thus, the present study aimed to develop, through the use of geoprocessing, a methodology for the identification of priority forest fragments for environmental protection actions through the fragility of forest resources. The study area was the Una River watershed, located in the municipality of Ibiúna, central-west of the State of São Paulo, an area inserted in the Atlantic Forest Biome. For the development of the research, the cartographic base was elaborated from topographic maps of the municipality on a scale of 1: 10,000 and the mapping of land use was performed. From this mapping, 27 fragments were identified that underwent a remodeling process and evaluated for their fragility. Were evaluated the shape (Circularity Index - CI), which refers to the geometry of the fragments through the perimeter-area relationship, the use of the surroundings (Edge Effect Index - EEI), which calculates the influence of the use and management of the land adjacent to forest fragments, and the biophysical condition (Fragment Biophysical Quality Index - FBQI), generated from the analysis of clay content and the mean SAVI. Through the HPA method (Hierarchical Process Analysis), weights were assigned to each index, thus deriving from the Forest Fragility Indicator (FFI). The CI showed that 19 fragments were classified as very elongated and 8 as elongated. The EEI showed that anthropic uses were the main factors of change, resulting in 5 fragments with high anthropic exposure and 22 with average anthropic exposure. The FBQI identified 2 fragments classified as low, 23 as medium and 2 as high biophysical quality. For the allocation of the weights of each index in the calculation of the FFI, the HPA resulted in a consistency ratio of 8.8%, being considered satisfactory. The FFI values showed that the greater weight attributed to the EEI, was close to 8 times greater than the CI and 3 times greater than the FBQI, contributing directly to the result. This proves the importance of using land adjacent to forest fragments for their conservation and protection. Finally, the applied methodology can be an important tool in the elaboration of conservation actions and assist in the planning and management of activities related to environmental protection, especially forests.

Keywords: Geoprocessing. Atlantic Forest. Forest fragments. Environmental protection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo	24
Figura 2 - Lagos, tanques e açudes da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.	27
Figura 3 - Áreas florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.	27
Figura 4 - Áreas urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.	28
Figura 5 - Áreas rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.	28
Figura 6 - Aterro sanitário de Ibiúna, SP.....	29
Figura 7 - Áreas definidas como campos sujos da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP	29
Figura 8 - Culturas temporárias da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	30
Figura 9. Áreas de pastagem da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	30
Figura 10. Áreas de silvicultura da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	31
Figura 11 - Delimitação das áreas centrais dos fragmentos florestais.....	32
Figura 12. Delimitação dos polígonos da área de estudo.....	32
Figura 13. Demonstração do resultado da remodelagem dos fragmentos florestais.....	33
Figura 14 - Definição da área de influência do entorno do fragmento.....	34
Figura 15 – Apresentação esquemática da ação da partícula de argila no solo.....	36
Figura 16. Malha de amostragem para determinação do teor de argila da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	37
Figura 17. Índice randômico médio do AHP.....	40
Figura 18. Diagrama metodológico.....	41
Figura 19. Base cartográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	42
Figura 20. Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da área de estudo.....	43
Figura 21. Fragmentos florestais estudados. Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	46
Figura 22. Relação área central / área total dos fragmentos.....	48
Figura 23. Índices de Circularidade dos fragmentos florestais analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	49
Figura 24. Índices de Efeito de Borda dos fragmentos florestais da área de estudo.....	51
Figura 25. Mapa da Porcentagem de Argila da área de estudo.....	53
Figura 26. SAVI dos fragmentos florestais estudados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	55
Figura 27. Índices de Qualidade Biofísica dos fragmentos florestais analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	56
Figura 28. Matriz de comparação de pares.....	58

Figura 29. Indicador de Fragilidade Florestal dos fragmentos analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	59
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pesos atribuídos às categorias de uso e ocupação da terra	35
Tabela 2. Categorias de uso da terra e suas respectivas áreas para a bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP	44
Tabela 3. Dados estatísticos das categorias de uso da terra para a bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP	45
Tabela 4. Dados das áreas dos 27 fragmentos estudados na área de estudo	47
Tabela 5. Valores de IQBF, teor de argila e SAVI dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP	57
Tabela 6. Valores de IFF, ordenados do maior para o menor valor, dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Análise Hierárquica de Processos
APA	Área de Preservação Ambiental
CI	Índice de Consistência
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cwa	Clima subtropical com verão úmido e inverno seco
GPS	Global Positioning System
DATAGEO	Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Circularidade
IEB	Índice de Efeito de Borda
IFF	Indicador de Fragilidade Florestal
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
IQBF	Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento
IQD	Inverso do Quadrado da Distância
IR	Índice Randômico
IV	Índice de Vegetação
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
NIR	Near Infra Red
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
RC	Razão de Consistência
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SP	Estado de São Paulo
SR	Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	Mata Atlântica.....	18
2.2	Antropização e degradação ambiental.....	18
2.3	Fragmentação florestal e efeito de borda	19
2.4	Geoprocessamento.....	21
3	OBJETIVOS.....	23
3.1	Objetivo geral	23
3.2	Objetivos específicos.....	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Área de estudo	24
4.2	Materiais	25
4.3	Métodos.....	25
4.3.1	Elaboração da base cartográfica.....	25
4.3.2	Mapeamento do uso da terra.....	26
4.3.3	Seleção e remodelagem dos fragmentos florestais.....	31
4.3.4	Índice de Circularidade (IC)	33
4.3.5	Índice de Efeito de Borda (IEB).....	34
4.3.6	Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento (IQBF)	36
4.3.7	Indicador de Fragilidade Florestal (IFF)	39
4.4	Diagrama metodológico.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	Base cartográfica	42
5.2	Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	43
5.3	Fragmentos florestais avaliados.....	45
5.4	Índice de Circularidade (IC)	48
5.5	Índice de Efeito de Borda (IEB).....	50
5.6	Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento (IQBF).....	52
5.7	Indicador de Fragilidade Florestal (IFF).....	57
6	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um dos biomas de maior diversidade do planeta. Percorre 17 estados, desde o Ceará até o Rio Grande do Sul, além de partes do Paraguai e Argentina, e totaliza mais de 1.350.000 km². (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, ISA, 1998; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2002). Devido a sua vasta extensão territorial, a Mata Atlântica apresenta muitas variações em sua composição, seja nos mosaicos de unidades fitogeográficas, no relevo e nos regimes pluviométricos, o que contribui para sua grande biodiversidade (PINTO et al., 1997; OLIVEIRA-FILHO, FONTES, 2000; SILVA, CASTELETI, 2003).

A contínua extração de recursos naturais, a extensa fronteira agropastoril e a grande concentração urbana e industrial fez com que a cobertura florestal se fragmentasse ao longo dos séculos, desde o descobrimento do país até os dias atuais, restando atualmente menos de 13% de sua cobertura original e reduzida em arquipélagos de fragmentos florestais (MORI, 1988; DEAN, 1995; MORELLATO, HADDAD, 2000; YOUNG et al., 2004; RIBEIRO et al., 2009).

Mesmo tendo perdido grande parte de sua cobertura, a Mata Atlântica ainda abriga um alto número de espécies endêmicas de plantas vasculares, anfíbios, répteis, aves e mamíferos (MYERS et al., 2000; RIBEIRO et al. 2009), representando uma alta diversidade biológica ainda mal calculada e muito ameaçada (GALINDO-LEAL, CÂMARA, 2005).

Com altos níveis de ameaça e devido à sua riqueza biológica, este bioma, ao lado de outras 33 regiões situadas em diferentes partes do planeta, foi apontada como um dos *hotspots* mundiais, ou seja, uma das prioridades para a conservação de biodiversidade em todo o mundo (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2004). Myers et al. (2000) definem *hotspots* como regiões onde há grande concentração de biodiversidade e maior urgência de conservação devido à alta perda de habitat.

O processo de fragmentação florestal, além de reduzir a área florestal, gera o efeito de borda nos fragmentos. As condições de umidade, temperatura e radiação solar são modificadas e o equilíbrio do ecossistema fica comprometido (MURCIA, 1995, BORGES et al., 2004). Fahrig (2003) ainda cita como efeitos da fragmentação a diminuição da riqueza de espécies, diminuição da abundância das populações, diminuição da diversidade genética e alterações nos padrões de reprodução, dispersão e taxa de predação.

A fragmentação e a destruição do hábitat são importantes causas de extinção na atualidade, pois à medida que os habitats são progressivamente destruídos, os fragmentos restantes tornam-se cada vez menores e mais isolados, provocando perdas na biodiversidade (LOUZADA, 2010), uma vez que as espécies passam a depender de suas habilidades de deslocamento (METZGER, 2010). Em paisagens fragmentadas, o tamanho dos remanescentes de habitat e a conectividade entre eles encontram-se relacionados às probabilidades de extinção local e de recolonização das espécies (HANSKI, GILPIN, 1997).

Além da distância, o isolamento dos fragmentos florestais depende também do tipo de vizinhança, uma vez que a matriz pode ser mais ou menos permeável ao fluxo das espécies entre fragmentos. Com isto, a conexão entre fragmentos é estritamente necessária, uma vez que, segundo a teoria ecológica contemporânea, as chances de sobrevivência dos indivíduos e uma população são reduzidas à medida que o seu grau de isolamento aumenta (VIANA, TABANEZ, MARTINEZ, 1992; AYRES, 2005).

Esta fragmentação acarreta no aumento do efeito de borda, que é o resultado do contato entre dois ecossistemas próximos, separados por uma alteração brusca da paisagem (MURCIA, 1995, GIMENES, ANJOS, 2003). Os efeitos diretos que a criação de uma borda pode causar nos remanescentes florestais e os processos envolvidos são inúmeros, incluindo a perturbação física da vegetação e do solo, mudanças do meio abiótico, de trocas de energia do ecossistema e mudanças no meio biótico (SAMPAIO, 2011).

As mudanças no meio abiótico envolvem principalmente o microclima (temperatura, umidade do ar, radiação solar e modificação dos ventos) (KAPOS, 1989). Com relação às mudanças no meio biótico, os efeitos relacionam-se às alterações nas populações e comunidades, afetando quantidade e dispersão das espécies, além da interação entre as espécies, como predação e parasitismo (RODRIGUES, 1993; MURCIA, 1995).

Com a intenção de se automatizar o processamento de dados com características espaciais, surgiram nos anos 60 os primeiros Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Entretanto, ainda eram pouco acessíveis devido ao alto custo dos equipamentos, falta de equipamentos de qualidade e necessidade de mão de obra altamente especializada. A partir da década de 80, com o avanço da informática, com o aumento da demanda de estudos sobre o assunto, a popularização e o barateamento dos equipamentos eletrônicos o geoprocessamento passou a ser considerado um ramo científico (CÂMARA, DAVIS, 2001).

Geoprocessamento é a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes,

Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2001). O geoprocessamento vem se tornando uma ferramenta importante para a execução de projetos relacionados à área de meio ambiente. As muitas áreas normalmente encontradas por estes projetos, bem como o grande número de variáveis contempladas por eles, fazem do uso do geoprocessamento o principal recurso para o manuseio das grandes bases de dados envolvidas neles, sejam elas de natureza espacial ou não (BRITES et al., 1998).

Uma das ferramentas computacionais para Geoprocessamento, denominada de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2001).

SIG's podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente (PIROVANI, 2010). Esses sistemas permitem a captura, modelagem, armazenamento, manipulação e apresentação de dados geográficos, sendo amplamente utilizados em atividades relacionadas à agricultura, gestão de áreas naturais, cartografia e planejamento de serviços urbanos (WORBOYS & DUCKHAM, 2004; SOUZA & GALI, 2007).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mata Atlântica

Considerado um dos ecossistemas mais ricos do planeta, a Mata Atlântica, abrangia uma área equivalente a 1.315.460 km² quando o Brasil foi descoberto e sua mata era contínua, se estendendo por mais de 3.300 km ao longo da costa leste do Brasil. Entretanto, atualmente restam 12,4% da floresta que existia originalmente e 80% desses remanescentes estão em áreas privadas (MORELLATO & HADDAD, 2000; CÂMARA, 2003; SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

É apontada como um *hotspot* de diversidade mundial, possuindo uma das maiores biodiversidades do planeta, sendo registrado alto endemismo, com 55 espécies de mamíferos, 87 de anfíbios, 188 de aves, 60 de répteis, 133 de peixes e mais de 8.000 plantas vasculares, o que demonstra sua importância e requer ações urgentes para promover a conservação da sua biodiversidade (VARJABEDIAN, 2010; PRADO, VASCONCELOS, CHIODI, 2014).

Apresentando uma importância relevante, a Mata Atlântica auxilia na manutenção da sua biota, garantindo a fertilidade do solo, protegendo escarpas e encostas, além de controlar o fluxo de mananciais hídricos, contribuindo de maneira direta e indiretamente para o ecossistema e para os seres humanos (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014).

Atualmente, as grandes florestas têm tido uma redução em decorrência do desmatamento, o qual tem sido ocasionado muitas vezes por incêndios, extração de madeira e devastação em geral para utilização pelo setor agropecuário, evento esse que acontece ao longo da história da humanidade (ARRAES, MARIANO, SIMONASSI, 2012).

Com isso, a fragmentação e perda de habitats naturais, principalmente das florestas, têm impulsionado a perda da biodiversidade terrestre (BREGMAN, SEKERCIOGLU, TOBIAS, 2014). Entretanto isso pode intensificar-se com o aumento da exploração dos recursos naturais, proliferação de espécies exóticas e com alterações climáticas, que são considerados os fatores que acometem a biodiversidade, aumentando o risco de extinção de espécies futuramente. (SALATI, SANTOS & KLABIN, 2006)

2.2 Antropização e degradação ambiental

Com o crescimento massivo da população no planeta, têm ocorrido inúmeras transformações na natureza, causado pelo crescimento da antropização, processo esse que expandiu sete vezes mais nos últimos vinte anos (OSIPOV, 2016).

As alterações dos ambientes causadas por interferências antrópicas se intensificaram a partir da Revolução Industrial, onde resultaram em diferentes transformações no ambiente terrestre, causando desequilíbrios ambientais e socioeconômicos (HOUGHTON et al. 2001).

De acordo com Silva (2007), as atividades humanas voltadas à mineração, agricultura, exploração florestal, produção de energia, transporte, construções civis (urbanização, estradas, etc.), indústrias químicas e metalúrgicas são os causadores de quase todo o impacto ambiental existente. A atividade de opressão de recursos naturais e mineração, quando realizadas de forma imprópria, podem provocar impactos irreversíveis ao meio ambiente, propiciando intensas ocupações desordenadas e desequilíbrio biótico (CARVALHO, 2003). Ainda segundo Louzada (2010), o uso e ocupação inadequada do solo resultam no desmatamento e mudanças da paisagem, o que acaba por prejudicar a biodiversidade.

Martínez-Fernández, Ruiz-Benito e Zavala (2015) dividem os processos de antropização em três grupos, onde o primeiro grupo abrange a conversão de qualquer cobertura não artificial para artificial, o segundo engloba a conversão de qualquer tipo de cobertura natural da terra em cobertura agrícola e por fim o terceiro grupo inclui a conversão de coberturas de terras agrícolas menos estruturadas e extensas para outras estruturadas e intensivas.

Em tempo muito curto o ambiente natural tem se degradado muito rápido, diminuindo assim a sua qualidade, o que poderá acarretar em condições ambientais consideradas impróprias para existência humana (OSIPOV, 2016).

Segundo a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, a qual institui a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), em seu § II do artigo 3º define o termo degradação ambiental como “a alteração adversa das características do meio ambiente”. Entretanto, o conceito expressa que a degradação ambiental se apresenta com caráter negativo, mas a lei não deixa claro de que o principal causador desta degradação é o ser humano, nem que o resultado de atividades antrópicas ou fenômenos naturais tem causado a destruição da floresta (MENEGUZZO, CHAICOUSKI, 2010).

2.3 Fragmentação florestal e efeito de borda

A fragmentação florestal é classificada como um processo no qual uma área de vegetação contínua é dividida em dois ou mais fragmentos isolados por fatores naturais ou antrópicos, geralmente cercados por ambientes díspares dos originais, sendo que muitas vezes essas áreas são convertidas em campos de agriculturas ou utilizadas em outras atividades antrópicas (CARVALHO et al., 2007).

Pirovani (2010) caracteriza a fragmentação como a ruptura de uma unidade contínua, resultando em elementos menores que apresentam dinâmicas e processos ecológicos diferentes da unidade original. Para Viana (1990), fragmentos florestais são quaisquer áreas de vegetação natural contínua interrompida por barreiras naturais ou antrópicas, as quais possuem capacidade de diminuir drasticamente o fluxo de animais, pólen e sementes.

Os fragmentos são afetados direta e indiretamente por alterações em seu tamanho, forma, tipo de matriz circundante, grau de isolamento e efeito de borda (BRASIL, 2003; MACHADO et al., 2006). O isolamento causado pela fragmentação das florestas acarreta inúmeras mudanças no microclima, além de alterações nas bacias hidrográficas, destruição dos recursos naturais e consequentemente a redução da biodiversidade (MORAES et al., 2012). Modificações de tamanho e forma alteram drasticamente a relação de borda-área e a distância do centro do fragmento à sua borda. Muitas vezes as florestas fragmentadas são submetidas a alterações em consequência da contração de sua área, alterando assim a composição de espécies da flora e fauna e afetando diretamente a conservação da biodiversidade, devido às condições ambientais diversificadas em seu entorno (VIANA, 1990; VIANA, TABANEZ, MARTINEZ, 1992).

Segundo alguns autores, é premente a hipótese de que pequenos fragmentos florestais não são autossustentáveis, em consequência da exposição aos efeitos de borda e os diversos meios de degradação, causando diferentes efeitos nesses remanescentes (VIANA, 1990; VIANA; PINHEIRO, 1998; SANTOS, 2017). Também, a redução da área total coberta por florestas é capaz de ocasionar a extinção de espécies, assim como expor os organismos que permanecem no fragmento a condições adversas de outrora devido ao efeito de borda criado (FLETCHER, 2005).

O efeito de borda consequente da fragmentação é resultante do contato das florestas com o ambiente do entorno, contato este que impulsiona mudanças no habitat e exerce maior intensidade entre as populações estabelecidas adjacentes dos fragmentos (LAURANCE, VASCONCELOS, 2009).

A área de borda, marcada por condições muito distintas de seu interior e causada por fatores como a ocorrência maior de luz, mudanças de temperatura, velocidade do vento e

alteração na umidade relativa do ar, cresce conforme aumenta a fragmentação da floresta, ocasionando mudanças na composição da vegetação. A evidência da proximidade de uma borda ocorre nos primeiros 35 metros, entretanto podem provocar transformações em até 500 metros. Com isso muitas das espécies que são habituadas à luz, podem ocupar o lugar de espécies de que são adaptadas à sombra (MOURA, PRADO, 2006; OLIVEIRA et al., 2015).

2.4 Geoprocessamento

Geoprocessamento ou geotecnologia são definidos como o conjunto de tecnologias relacionadas às informações geográficas, ou geoinformação. Surgiu com a evolução das tecnologias da informática, possibilitando a realização de atividades relacionadas à aquisição, processamento, interpretação e análise de dados ou de informações georreferenciadas, com suporte de sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto (SR), cartografia, geoestatística e geodésia (SANTOS, 2010; SANTOS et al., 2012).

O avanço das geotecnologias tem beneficiado diversas áreas, como o setor florestal, gestão pública e saúde, uma vez que atividades como a delimitação de corredores ecológicos, manejo de bacias hidrográficas, análise de riscos de incêndios florestais, estudo da ecologia da paisagem, monitoramentos e adequações ambientais, análises de dados censitários e zoneamentos ambientais, que antes eram dispendiosas e de difícil execução passaram a ser realizadas em menos tempo e com resultados melhores (BURROUGH, 1998; SANTOS et al., 2012).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) são tecnologias que têm sido empregadas para atividades de levantamento, mapeamento e monitoramento de recursos naturais, permitindo uma abordagem estruturada da análise espacial e possuindo grande potencial para gerar e tratar dados bastante detalhados e com boa resolução espacial (PEREIRA, NEVES, FIGUEIREDO, 2007; ROSA, 2009), além da rapidez e do baixo custo quando comparado com as metodologias tradicionalmente utilizadas para o mapeamento do ambiente (SANTOS et al., 2012).

Eastman et al. (1995) afirma que o SIG evoluiu de três áreas de aplicação, sendo a primeira como um banco de dados de informações, a segunda como uma ferramenta analítica capaz de relacionar lógicas e matemáticas entre dados, produzindo informações secundárias, e a terceira como uma forma de apoiar tomadas de decisões a partir das análises geradas.

Técnicas de SR tiveram uma grande evolução nas últimas décadas, podendo ser utilizadas para diversas análises, como, por exemplo, identificação de desmatamentos,

gerenciamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, falhas de plantios, quantidade de biomassa verde, índice de área foliar e vigor vegetativo (TUCKER, 1979; HOLBEN, TUCKER, FAN, 1980; BARET, GUYOT, 1991; PARANHOS FILHO, 2000; CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2001; LOPES et al., 2018).

A maior vantagem do SR é a capacidade de gerar informações resultantes do comportamento espectral da vegetação, e correlacioná-los, por exemplo, com a vegetação verde saudável, a atividade fotossintética, a cobertura do solo e a produtividade. Normalmente, as faixas espectrais mais utilizadas são as do visível, o azul (B), verde (G), vermelho (R) e as do infravermelho (NIR) do espectro eletromagnético, uma vez que estas representam mais de 90% da variação da resposta espectral, realçando o comportamento espectral da vegetação e relacionando às suas condições biofísicas (EPIPHANIO et al., 1996; ROSA, 2009; LIMA et al., 2013)

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a identificação de fragmentos florestais prioritários para conservação e preservação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, São Paulo, através da elaboração de um Indicador de Fragilidade Florestal (IFF).

3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

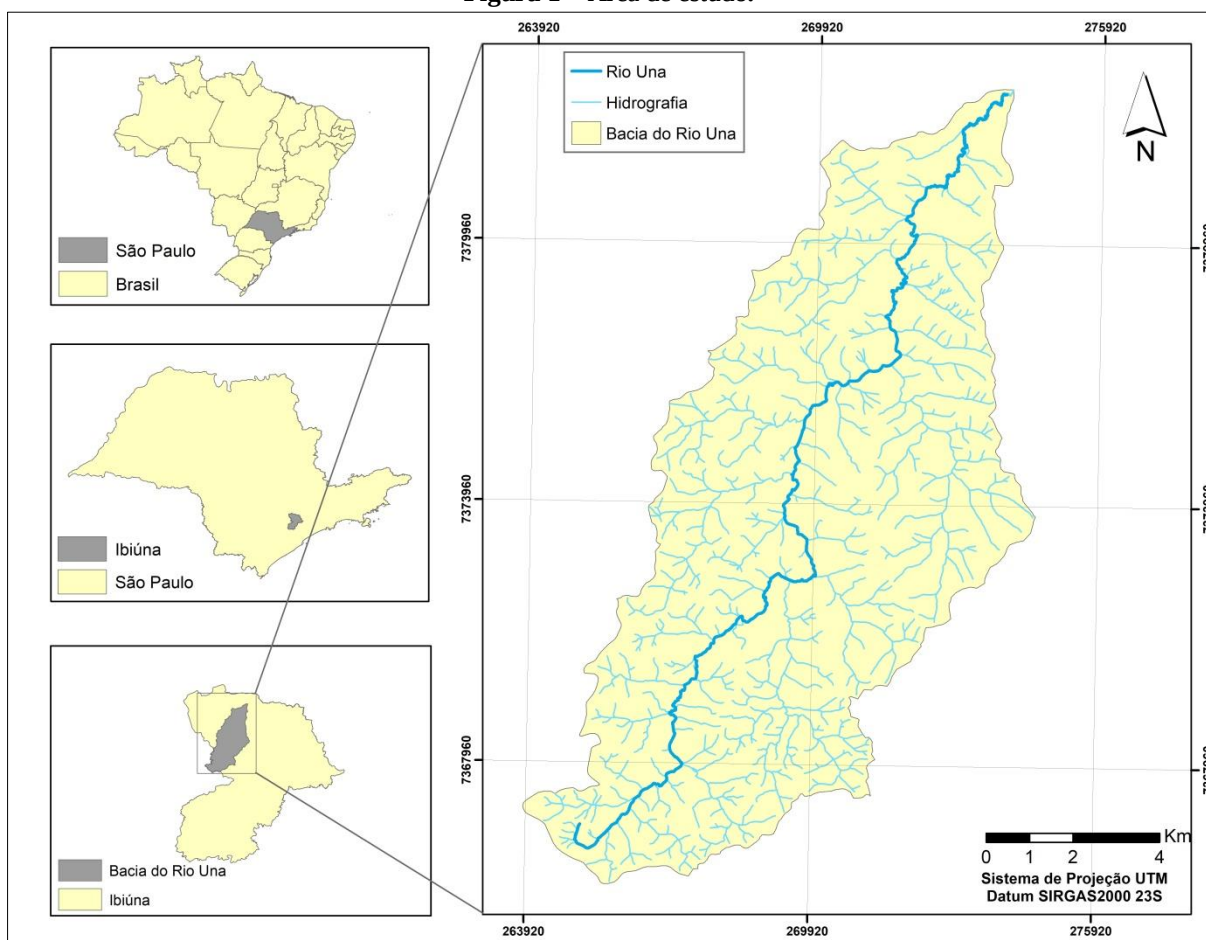
- mapear e caracterizar o uso da terra da área de estudo;
- gerar índices que avaliem o fragmento florestal quanto à sua forma, exposição à pressão antrópica e qualidade biofísica;
- integrar os índices para geração de um indicador de fragilidade dos fragmentos florestais que possa expressar e ordenar a prioridade com vistas às ações de conservação e preservação ambiental.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, São Paulo. A área possui 9.816,64 hectares e está inserida na 10ª Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-10) - Sorocaba e Médio Tietê. O Rio Una, principal curso da bacia, possui 25 km de extensão e recebe águas do Córrego do Cupim, Ribeirão do Leopoldo e Ribeirão do Salto, desaguando no rio Sorocabaçu. (FIGURA 1).

Figura 1 – Área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

A cidade de Ibiúna possui uma área de 1.058 km², sendo o 34º município de maior extensão territorial do estado, mas ocupando apenas a posição 224ª em relação à densidade demográfica, com 67,31 habitantes/km² (IBGE, 2010; IBIÚNA, 2018). De modo geral, o município apresenta aptidão para lavouras temporárias e permanentes, pastagem,

reflorestamento, sendo estes limitados pela erosão, risco de erosão ou excesso de água no solo (ANDREOTI, 2012). Esta aptidão justifica a presença de 65% dos habitantes do município estarem localizados na zona rural (ANDRADE, 2016).

Segundo a classificação de Dubreuil et al. (2017), o clima da bacia é Cwa, apresentando clima temperado e verão quente e úmido. A pluviosidade anual média é de 1.308,8 mm, tendo médias históricas de 241,9 mm para janeiro e 34,0 mm para agosto (SALES, 2015; CIIAGRO, 2019). Está inserida no bioma Mata Atlântica e na Área de Proteção Ambiental de Itupararanga (APA Itupararanga), contribuindo significativamente para o Reservatório de Itupararanga, o qual é responsável pelo abastecimento de água para Ibiúna, Sorocaba e outras cidades próximas e apresenta uma zona de transição entre rural e urbana, com histórico de fragmentação da paisagem e atividade agrícola como a principal atividade econômica do local (LOPES et al., 2018; LOPES, 2018).

4.2 Materiais

Para este trabalho, foram utilizados:

- Cartas topográficas do município de Ibiúna em escala 1:10.000, fornecidos pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1979);
- Imagens do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 metros e período de referência de agosto de 2014, disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA);
- Imagens do satélite Landsat 8, com período de referência de março de 2019, resolução espacial de 30 metros, disponibilizada pelo USGS;
- Software de geoprocessamento e processamento de dados e imagens ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016);
- Software Microsoft Excel 2010 (MICROSOFT, 2010);
- Software Google Earth Pro;
- Equipamentos para campo (GPS, caderneta, máquina fotográfica).

4.3 Métodos

4.3.1 Elaboração da base cartográfica

A base cartográfica foi construída através dos dados extraídos das cartas topográficas da área de estudo, em escala 1:10.000, fornecidas pelo IGC gratuitamente em formato digital

através do acervo da Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo (DATAGEO) (IGC, 1979; DATAGEO, 2018). A partir das informações de hidrografia, curvas de nível e cotas altimétricas foi realizada a delimitação dos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Una. A vetorização dos dados foi realizada através do software ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016). As informações foram mantidas no sistema de referência UTM, Datum SIRGAS 2000.

4.3.2 Mapeamento do uso da terra

O mapeamento do uso da terra foi realizado através da imagem do satélite *RapidEye*, com período de referência de agosto/2014 e resolução espacial de 5 metros. Através do uso de diferentes composições de imagens, como cor verdadeira e falsa cor, sobrepostas ao limite da bacia, pode-se realçar diferentes objetos, de forma a diferenciar mais facilmente determinadas feições.

Este mapeamento foi realizado através da interpretação visual da imagem, vetorizado através da identificação das diferentes feições presentes na área. Este tipo de interpretação consiste na identificação de feições a partir de suas diferentes características de tonalidade, cor, textura, forma, estrutura e sombra, e necessita da habilidade de observação de quem está realizando a atividade (FLORENZANO, 2002; NOVO, 2010; PANIZZA, FONSECA, 2011; LOPES et al., 2018).

As classes foram divididas em Área florestal (matas), Área degradada, Lâmina d'água, Área urbana, Área rural, Silvicultura (cultura permanente), Cultura temporária, Pastagem, Aterro sanitário, adaptado do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

A categoria Água representa os lagos, tanques e açudes presentes na bacia, podendo ser artificiais ou naturais (FIGURA 2).

Figura 2 - Lagos, tanques e açudes da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

As áreas florestais são referentes aos fragmentos florestais de mata nativa, sendo consideradas as florestas densas ou abertas, além de áreas em estágios evoluídos de recomposição florestal (FIGURA 3).

Figura 3 - Áreas florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

Para a classificação das áreas urbanas, foram consideradas as áreas urbanas do município (sede municipal e vilas). São as áreas de uso intensivo, com edificações e sistema viário estruturado e predominância de superfícies artificiais (FIGURA 4).

Figura 4 - Áreas urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

Áreas rurais são as áreas antropizadas não classificadas como cidades ou vilas. Nesta categoria estão inclusos os domicílios rurais, edificações e áreas adjacentes em que não foi possível a identificação em uma das outras categorias (FIGURA 5).

Figura 5 - Áreas rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

Na bacia também há a presença do aterro sanitário do município, localizado em sua porção mediana. Por se tratar de um uso específico em área descoberta, foi classificada em uma categoria exclusiva e é apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Aterro sanitário de Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

A categoria definida como campos sujos são as áreas degradadas, solo exposto e áreas normalmente próximas de áreas florestais, culturas temporárias e pastagens, mas sem identificação de algum uso antrópico (FIGURA 7). São áreas que oferecem menor restrição física à expansão de fragmentos florestais em relação às áreas modificadas por ação antrópica.

Figura 7 - Áreas definidas como campos sujos da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

Cultura temporária são os cultivos agrícolas anuais, onde há replantio e manejo do solo frequente (FIGURA 8). Para esta classe foram consideradas tanto as áreas plantadas quanto as áreas onde foi identificado o preparo do solo.

Figura 8 - Culturas temporárias da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

Pastagem são as áreas identificadas com solo coberto por gramíneas ou leguminosas destinadas ao pastoreio (FIGURA 9).

Figura 9. Áreas de pastagem da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

Silvicultura são as áreas com plantios de espécies arbóreas para fins de produção de madeira e produtos florestais não madeireiros, como resinagem, por exemplo. São áreas basicamente com plantio de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp (FIGURA 10).

Figura 10. Áreas de silvicultura da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

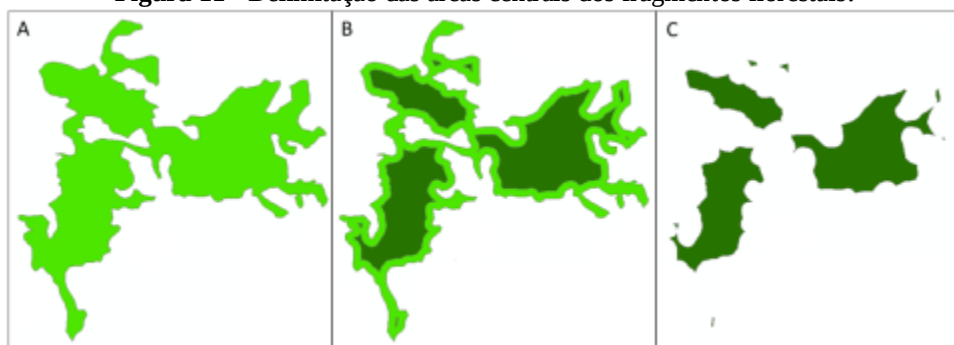
Ao final foi possível obter o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal, o qual foi utilizado para a retificação para 2018 com uso das imagens disponíveis do *Google Earth Pro*. Para confirmação da retificação, foram feitas observações em campo para identificação das diferentes feições categorizadas.

4.3.3 Seleção e remodelagem dos fragmentos florestais

Após a elaboração do Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal, foi realizado um procedimento de segmentação para o isolamento da categoria Área Florestal (matas) na área de estudo, os quais serviram de escopo de análise central dos fragmentos florestais. Em seguida, foi gerado um *buffer* de -50 metros, resultando na área central (*área core*) do fragmento, a qual é considerada um indicador de qualidade. Esta operação desconsiderou os primeiros 50 metros do fragmento, distância considerada por diversos autores como de efeito de borda (MATLACK, 1993; MURCIA, 1995; MCGARIGAL, 2002; OLIVEIRA et al., 2015).

Além disto, os fragmentos foram individualizados de forma que passem a ser tratadas como fragmentos florestais distintos. Isto pode ocorrer em casos onde o polígono apresenta forma alongada, com distâncias menores que 100 m entre uma borda e sua borda oposta, ficando assim com duas ou mais áreas centrais (FIGURA 11).

Figura 11 - Delimitação das áreas centrais dos fragmentos florestais.

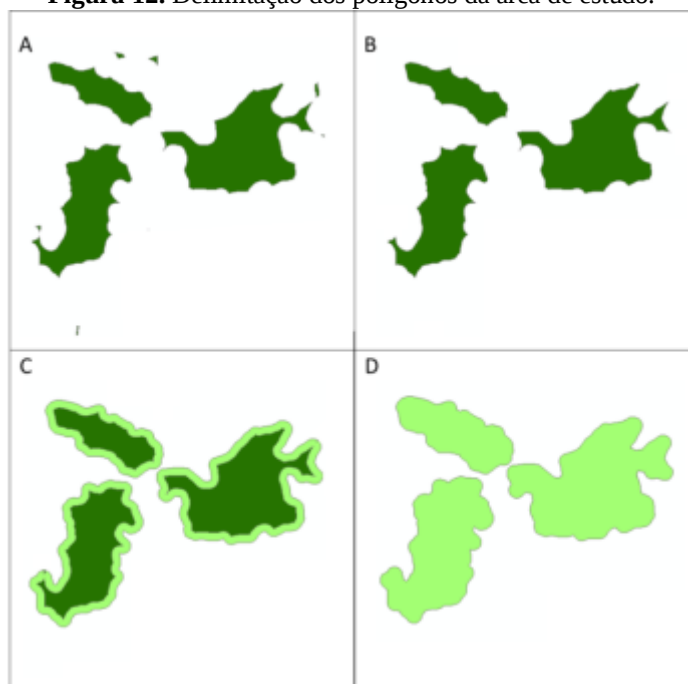


Fonte: Autoria própria.

Legenda: A: Fragmento florestal. B: Presença de várias áreas centrais. C: Áreas centrais resultantes.

Em seguida, foram selecionados apenas os polígonos dos fragmentos florestais com área central maior que 10 hectares, aos quais, foi gerado um buffer de + 50 metros, criando assim novos polígonos na área de estudo (FIGURA 12).

Figura 12. Delimitação dos polígonos da área de estudo.



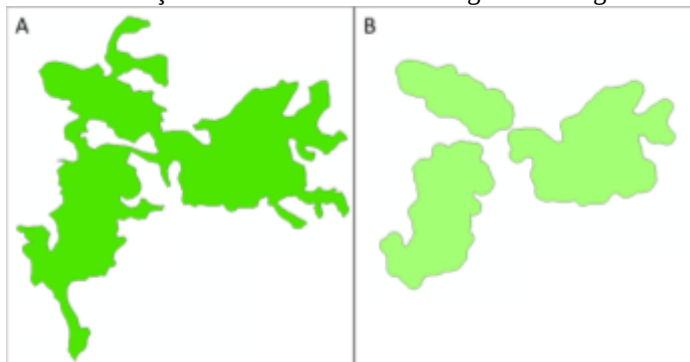
Fonte: Autoria própria.

Legenda: A: Áreas centrais resultantes da etapa anterior. B: Utilização somente dos polígonos com área central maior que 10 ha. C: Áreas centrais maiores que 10 ha e buffer de +50 m. D: Novos polígonos delimitados.

A Figura 13 apresenta o resultado final obtido no processo de remodelagem do fragmento. É possível verificar que houve perda de área florestal nos fragmentos remodelados, entretanto os novos fragmentos delimitados expressam as melhores condições

ambientais, uma vez que estas áreas desconsideradas estão totalmente expostas ao efeito de borda.

Figura 13. Demonstração do resultado da remodelagem dos fragmentos florestais.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A: Fragmentos florestais delimitados visualmente. B: Fragmentos florestais remodelados.

4.3.4 Índice de Circularidade (IC)

O Índice de Circularidade expressa forma, ou seja, avalia a geometria do fragmento florestal. Seus valores são adimensionais e podem adotar valores maiores que 0, e limite máximo de 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a tendência da forma ser arredondada. Fragmentos com valores de IC mais distantes de 1 apresentam forma mais alongada, os quais possuem mais susceptibilidade aos efeitos de borda e possibilidade de sofrerem fragmentação. Desta forma, fragmentos com menor proporção de borda-área são preferíveis para a preservação, pois possuem maior proporção de área central, que é a área livre do efeito de borda. (LAURANCE, 2009; GOMIDE & LINGNAU, 2009; GREGGIO, PISSARA e RODRIGUES, 2009). Este índice não considera a importância ecológica do fragmento, apenas apresenta o grau de fragilidade e suscetibilidade às pressões antrópicas (SALES, 2015). É calculado através da Equação 1.

$$IC = 2 \frac{\sqrt{\pi * A}}{P} \quad (1)$$

Onde:

IC = Índice de Circularidade;

A = Área do fragmento florestal;

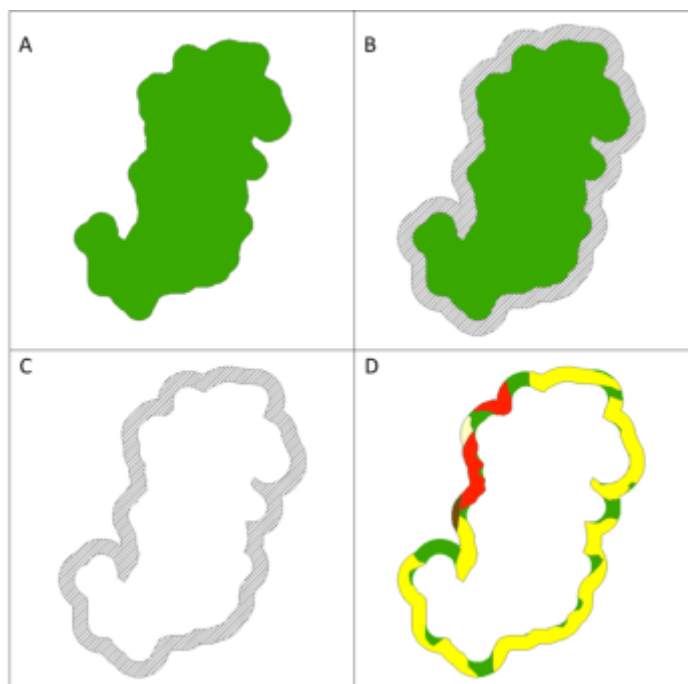
P = Perímetro do fragmento florestal.

4.3.5 Índice de Efeito de Borda (IEB)

O IEB determina a fragilidade dos fragmentos florestais em relação ao uso da terra de seu entorno. A construção deste índice foi adaptada de Lourenço, Silva e Sales (2014), onde os autores avaliaram o entorno imediato dos fragmentos florestais, ou seja, somente o perímetro de contato do fragmento. Nesta pesquisa, foi realizada a adaptação da metodologia de cálculo, passando a analisar não somente o entorno imediato, mas o uso da terra em uma distância de até 50 m do fragmento florestal.

Para a delimitação desta área da vizinhança foram utilizados os limites dos fragmentos remodelados e, através da ferramenta *buffer*, foram gerados novos polígonos com limite 50 m maior que o limite dos fragmentos. A individualização das áreas da vizinhança foi feita com uso da ferramenta *Symmetrical Difference (SymDiff)*, onde foram usados como *input* os fragmentos florestais remodelados e os polígonos gerados anteriormente, com limite 50 m maior que os fragmentos. Com isto, o resultado obtido foi da área do entorno dos fragmentos, no qual foi utilizada a ferramenta *Extract by Mask* para extrair o uso da terra do Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal (FIGURA 14).

Figura 14 - Definição da área de influência do entorno do fragmento.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: A: Fragmento florestal remodelado; B: Fragmento florestal e *buffer* de 50 m; C: Área resultante, referente à área do entorno a ser analisada; D: Uso e ocupação do solo na área do entorno.

Para cada categoria de uso da terra foram atribuídos pesos distintos, de acordo com o grau de importância e o impacto negativo sobre os fragmentos florestais, sendo que quanto menor o peso, menor o impacto negativo exercido ao fragmento. Os pesos foram adaptados de Lourenço, Silva e Sales (2014), Sales et al. (2017) e Amorim, Souza e Lourenço (2019). A Tabela 1 apresenta os pesos atribuídos para cada classe.

Tabela 1. Pesos atribuídos às categorias de uso e ocupação da terra

Categoria de uso	Peso atribuído
Área florestal	1
Corpo hídrico	1
Área degradada	0,8
Silvicultura	0,75
Pastagem	0,7
Área rural	0,5
Cultura temporária	0,25
Área urbana	0,1
Aterro sanitário	0

Fonte: Adaptado de Lourenço, Silva e Sales (2014), Sales et al. (2017) e Amorim, Souza e Lourenço (2019)

O IEB foi calculado através da ponderação da área de cada categoria com seu respectivo peso. Este índice pode variar de 0 a 1, sendo que quanto maior o valor encontrado, menor o impacto negativo ao fragmento frente à pressão antrópica, ao passo que quanto mais próximo de 0, maior o impacto negativo decorrente da pressão antrópica sobre o fragmento florestal. Foi calculado segundo a Equação 2.

$$IEB = \sum_{i=1}^n \frac{U_i \times A_i}{A} \quad (2)$$

Onde:

IEB = Índice de Efeito de Borda;

U_i = Peso atribuído à categoria do uso e ocupação da terra;

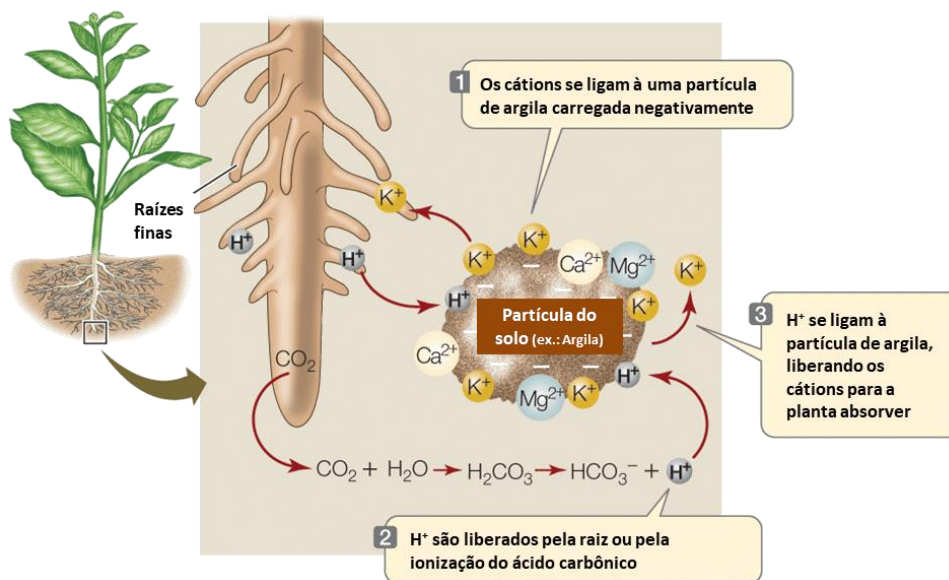
A_i = Área da categoria do uso da terra;

A = Área total do entorno.

4.3.6 Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento (IQBF)

O IQBF foi elaborado utilizando-se o teor de argila presente no solo do fragmento florestal remodelado e o seu respectivo SAVI médio. A utilização destes dois parâmetros para a elaboração do índice faz com que este expresse a qualidade ambiental do local. A argila possui alta retenção hídrica e facilita a atividade microbiana, fazendo com que solos argilosos apresentem maiores concentrações de componentes químicos oriundos da degradação de matéria orgânica. A argila e a matéria orgânica possuem cargas negativas na sua superfície, o que faz com que cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , por exemplo), sejam ligados à estas partículas, resultando em uma maior capacidade de troca catiônica (CTC), o que acarreta em solos mais férteis, permitindo melhores condições para a implantação e manutenção da vegetação (FIGURA 15). O SAVI, que se utiliza das propriedades espectrais das florestas, é relacionado ao vigor vegetativo e aos atributos biofísicos (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007; OLIVEIRA et al., 2008; BITTAR, FERREIRA e CORRÊA, 2013; LOPES, 2018; SOUZA et al., 2018).

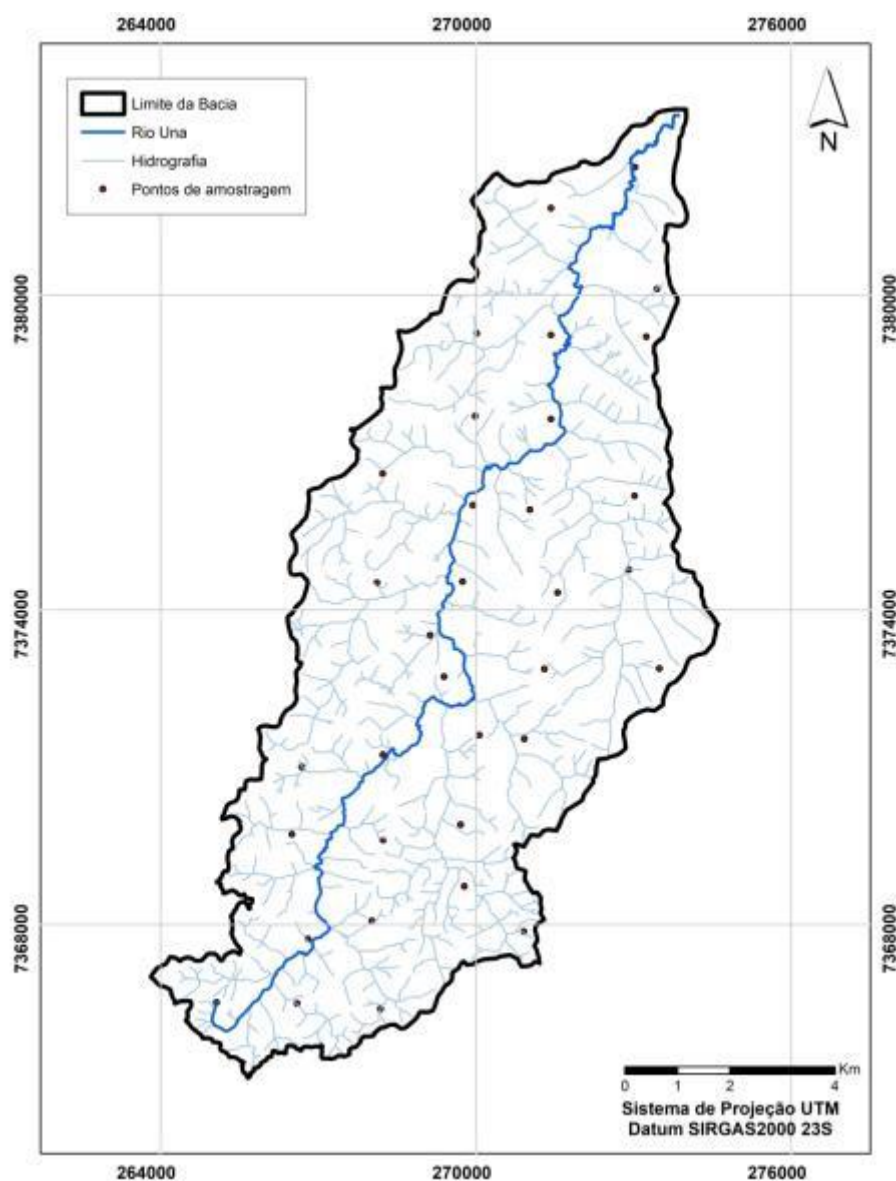
Figura 15 – Apresentação esquemática da ação da partícula de argila no solo.



Fonte: Aegro (2018).

Os dados relativos à argila foram obtidos de Souza et al. (2018), que realizaram a coleta e caracterização do solo distribuindo-se uma malha de amostragem irregular com 35 pontos, abrangendo toda a área da bacia e diferentes tipos de uso da terra classificados (FIGURA 16).

Figura 16. Malha de amostragem para determinação do teor de argila da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Para a caracterização, Souza et al. (2018) coletaram 500 gramas de solo em uma profundidade de 0 a 20 cm e posteriormente realizaram as análises em laboratório. As frações de areia foram definidas em peneira de 0,2 mm enquanto que as frações de argila e silte foram segregadas através do método da pipeta elaborado pelo IAC (2009), em que utiliza o tempo necessário para cada fração do solo. Os resultados foram expressos em porcentagem, com seu range de 0 a 100%.

Com os dados referentes à porcentagem de argila foram tabulados e foi gerado um mapa dos pontos amostrados. Estes dados foram espacializados e interpolados por meio da

técnica do inverso do quadrado da distância (IQD) no ArcGIS 10.5, a qual extrapola os valores do entorno através de uma combinação linear ponderada, onde a variável é influenciada pela distância de sua localização (ESRI, 2016). A interpolação IQD é um dos métodos mais utilizados para pontos distribuídos espacialmente na construção de mapas temáticos de propriedades do solo, como em Dranski (2016), Souza et al. (2019) e Trindade *et al.* (2019), e é obtida através da Equação 3.

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p} V_j}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p}} \quad (3)$$

Onde:

V_i = i-ésimo valor desconhecido;

n = número de pontos utilizados para a interpolação do valor desconhecido;

V_j = j-ésimo valor conhecido;

d_{ij} = distância entre o i-ésimo valor desconhecido e o j-ésimo valor conhecido;

p = expoente de ponderação.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) foi obtido através da interação entre as bandas do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR) e seus valores podem variar de -1,5 a 1,5, sendo que quanto maior o valor, maior a densidade vegetativa. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, com período de referência de março de 2019, resolução espacial de 30 metros e o índice de vegetação foi calculado através da Equação 4.

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

Onde:

L = fator de ajuste com o substrato do dossel;

NIR = banda do sensor referente ao infravermelho próximo;

RED = banda do sensor referente ao vermelho.

O fator de ajuste com o substrato do dossel pode variar de 0 a 1, sendo que a variação depende da densidade da vegetação (HUETE, 1988). Para esta pesquisa foi utilizado 0,5 para o valor de L , visto que a área apresenta médias densidades de vegetação, sendo este valor o

mais indicado de acordo com a literatura (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007; BILAR, PIMENTEL e CERQUEIRA, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

Para o cálculo do IQBF foi utilizada a média dos valores de argila e SAVI na área central dos fragmentos selecionados. Como o teor de argila possui range de 0 a 100% e o SAVI de -1,5 a 1,5, os resultados foram normalizados para a escala de 0 a 1 e o IQBF foi calculado através da média destes dois parâmetros, conforme mostra a Equação 5.

$$IQBF = \frac{\text{teor de argila médio} + \text{SAVI médio}}{2} \quad (5)$$

4.3.7 Indicador de Fragilidade Florestal (IFF)

Para a construção do Indicador de Fragilidade Florestal (IFF), foram utilizados o Índice de Circularidade (IC), Índice de Efeito de Borda (IEB) e Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento (IQBF), os quais foram atribuídos pesos através do método AHP (Analytic Hierarchy Process).

Este é um método multi-atributo desenvolvido por Thomas A. Saaty em 1980 que auxilia na tomada de decisões, o qual determina os pesos dos critérios a partir da comparação pareada entre eles (matriz de comparação paritária), onde são atribuídos valores de prioridade para cada relação de acordo com o julgamento do decisor, sendo definido com um dos métodos mais utilizados para tal objetivo (GOMES, ARAYA, CARIGNANO, 2004; OLIVEIRA, BELDERRAIN, 2008; GOMES, 2009; COSTA, BELDERRAIN, 2009; OSTOVARI *et al.*, 2019).

Com a construção da matriz de comparação, foi calculado o índice de consistência (CI), apresentado através da Equação 6.

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Onde:

CI = índice de consistência;

$\lambda_{\text{máx}}$ = autovalor máximo

n = dimensão da matriz.

O autovalor é uma medida de consistência do julgamento e foi calculado através da multiplicação da iteração da matriz pelo vetor coluna de prioridades, seguido da divisão pelo primeiro vetor. O processo de iteração aplicado consiste em multiplicar a matriz normalizada por si mesma, o que resulta em um refinamento progressivo e uma compreensão mais acurada do sistema (SAATY, 1990). Para dar prosseguimento com o cálculo da razão de consistência (RC), é aconselhado que o índice de consistência seja menor que 0,10 (SAATY, 1991).

A razão de consistência foi calculada através da divisão do índice de consistência pelo índice randômico (IR), apresentada na Equação 7.

$$RC = \frac{CI}{IR} \quad (7)$$

Onde:

RC = razão de consistência;

CI = índice de consistência;

IR = índice randômico.

O índice randômico foi proposto por Saaty em 1991 e varia conforme a ordem da matriz (FIGURA 17).

Figura 17. Índice randômico médio do AHP.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty, 1991.

O IFF foi calculado através da somatória da multiplicação dos valores de IC, IEB e IQBF pelos seus respectivos pesos atribuídos, conforme Equação 8.

$$IFF = \sum_{i=1}^n V_i \cdot P_i \quad (8)$$

Onde:

V_i = valor de cada índice;

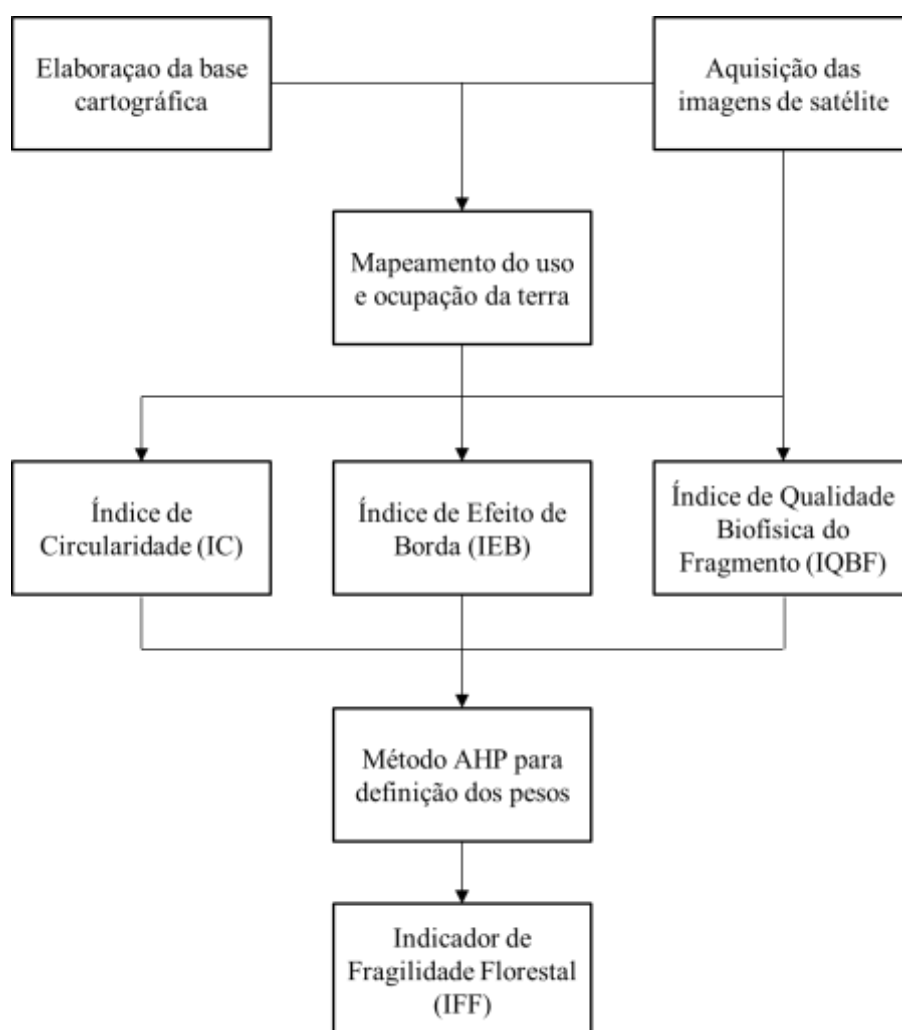
P_i = peso atribuído a cada índice, conforme obtido no método AHP.

Os valores obtidos podem variar de maior que 0 até 1, sendo que os maiores valores indicam os fragmentos com maior fragilidade e, portanto, os mais prioritários para ações de preservação e conservação.

4.4 Diagrama metodológico

A Figura 18 apresenta o diagrama metodológico da pesquisa.

Figura 18. Diagrama metodológico.



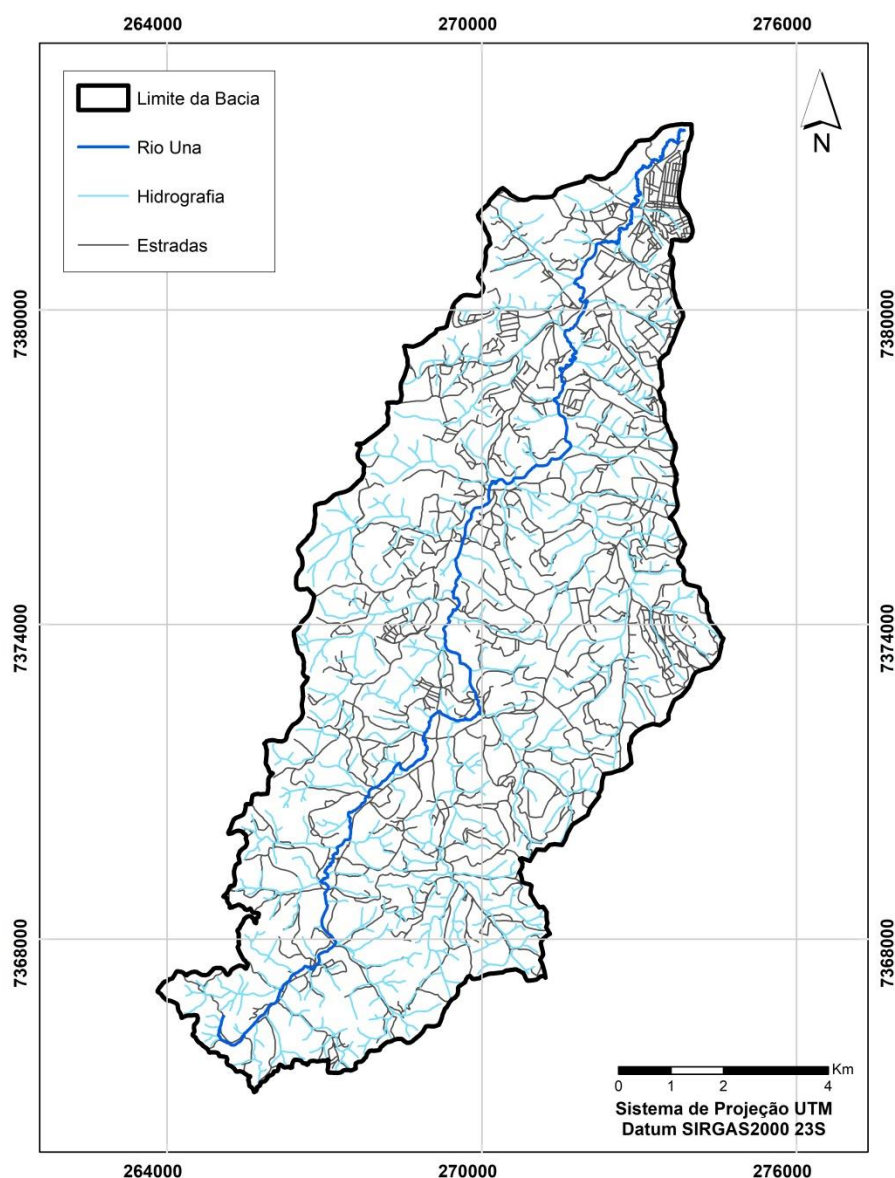
Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Base cartográfica

A base cartográfica, utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho, é apresentada na Figura 19.

Figura 19. Base cartográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



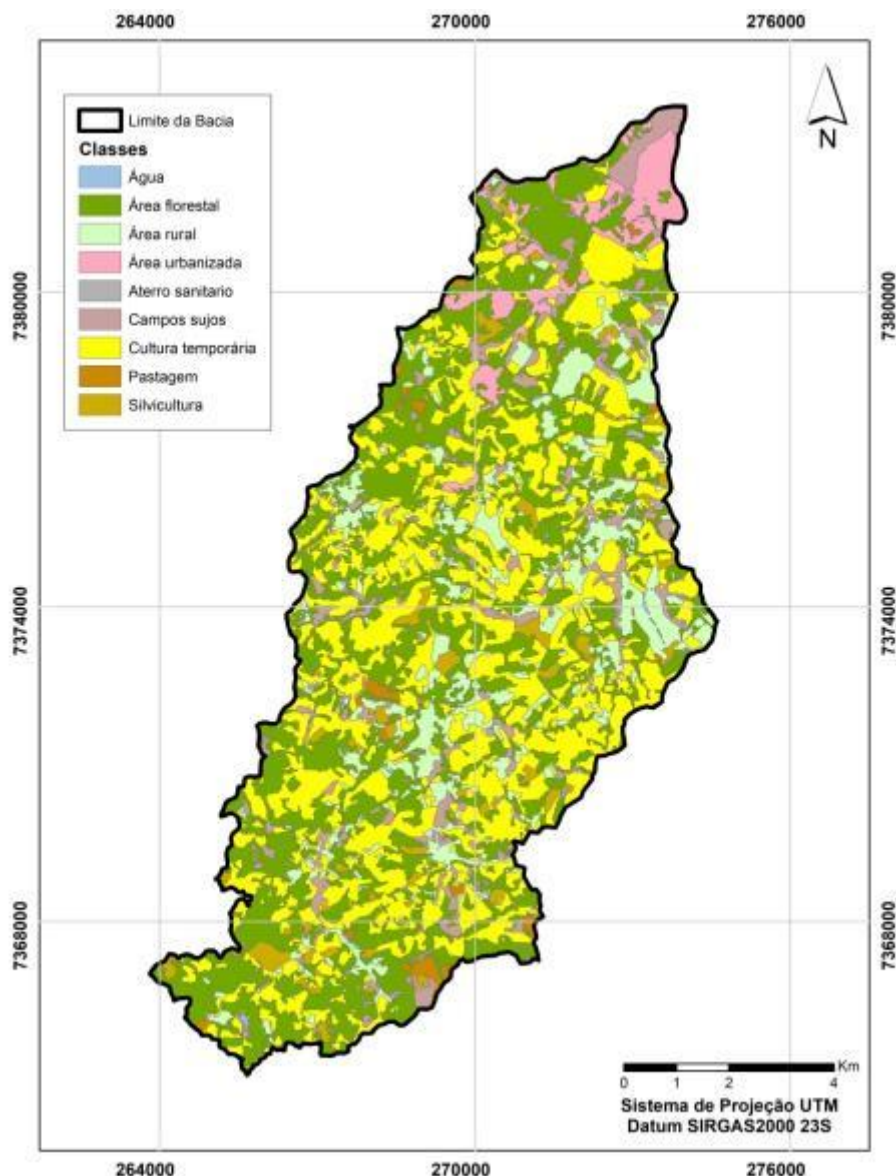
Fonte: Autoria própria.

A bacia hidrográfica possui 9.816,64 hectares, 298,35 km de rede de drenagem e 436,28 km de malha viária.

5.2 Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A Figura 20 apresenta o resultado obtido no mapeamento do uso da terra.

Figura 20. Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Foram identificados 9 categorias de uso da terra, sendo elas: Água, Área florestal, Área rural, Área urbanizada, Aterro sanitário, Campos sujos, Cultura temporária, Pastagem e Silvicultura. A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para cada uma das categorias identificadas.

Tabela 2. Categorias de uso da terra e suas respectivas áreas para a bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Categoria	Área (ha)	Área (%)	Nº polígonos
Água	66,48	0,78%	416
Área florestal	3.739,69	38,10%	283
Área rural	1.139,57	11,61%	224
Área urbanizada	363,28	3,70%	19
Aterro sanitário	3,83	0,04%	1
Campos sujos	648,70	6,61%	183
Cultura temporária	3.426,23	34,90%	225
Pastagem	102,13	1,04%	27
Silvicultura	326,73	3,33%	74
Total	9.816,64	100,00%	1.452

Fonte: Autoria própria.

A categoria Água está distribuída em toda a bacia e representa 416 polígonos do mapeamento, com tamanho médio de 0,16 ha e amplitude de 0,004 a 2,17 ha.

A área florestal foi a maior classe presente na bacia, representando 38,10% de toda a área, com um total de 3.739,69 ha distribuídos em 283 polígonos. Apresentou tamanho médio de 13,21 ha, com amplitude de 0,006 a 255,01 ha.

Áreas urbanizadas totalizaram 363,28 ha, distribuídos em 19 polígonos no baixo curso da bacia, com tamanho médio de 19,12 ha e amplitude de 0,14 a 153,88 ha.

Áreas rurais totalizaram 1.139,57 ha, representando 11,61% da área de estudo e divididos em 224 polígonos. O tamanho médio encontrado foi de 5,09 ha e sua amplitude variou de 0,01 a 122,21 ha.

O aterro sanitário do município, localizado na porção mediana da bacia, representou 0,04% da área total, com 3,83 ha.

A categoria definida como campos sujos foi identificada em 183 polígonos, com 648,70 ha e representando 6,61% da área da bacia. O valor médio foi de 3,54 ha e sua amplitude foi de 0,01 a 71,43 ha.

Cultura temporária somaram 3.426,23 ha, o equivalente à 34,90% da área da bacia, em 225 polígonos. Possui tamanho médio de 15,23 ha e amplitude de 0,05 a 313,12 ha.

Áreas de pastagem tiveram abrangência de 102,13 ha, distribuídas em 27 polígonos (1,04% da área total), com tamanho médio de 3,78 ha, cujo menor polígono foi de 0,14 ha e maior polígono com 25,91 ha.

Áreas destinadas à silvicultura resultaram em 3,33% da área total da bacia, com 326,73 ha distribuídos em 74 polígonos. O tamanho médio identificado foi de 4,42 ha e amplitude de 0,19 a 17,49 ha.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de média, maior e menor valor, amplitude e desvio padrão de cada categoria. É possível observar que a categoria com maior amplitude foi culturas temporárias. Entretanto, devido à categoria área urbanizada possuir a terceira maior amplitude, mas somente 19 polígonos, apresentou o maior desvio padrão dentre as demais categorias.

Tabela 3. Dados estatísticos das categorias de uso da terra para a bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Categoria	Média	Menor	Maior	Amplitude	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Água	0,16	0,004	2,17	2,16	0,22	1,35
Área florestal	13,21	0,01	255,01	255,00	28,67	2,17
Área rural	5,09	0,01	122,21	122,20	12,63	2,48
Área urbanizada	19,12	0,14	153,88	153,74	35,30	1,85
Aterro sanitário	3,83	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Campos sujos	3,54	0,01	71,43	71,42	6,63	1,87
Cultura temporária	15,23	0,05	313,12	313,07	33,95	2,23
Pastagem	3,78	0,14	25,91	25,77	5,36	1,42
Silvicultura	4,42	0,19	26,41	26,22	4,69	1,06
Total	6,76	0,004	313,12	313,12	20,51	3,03

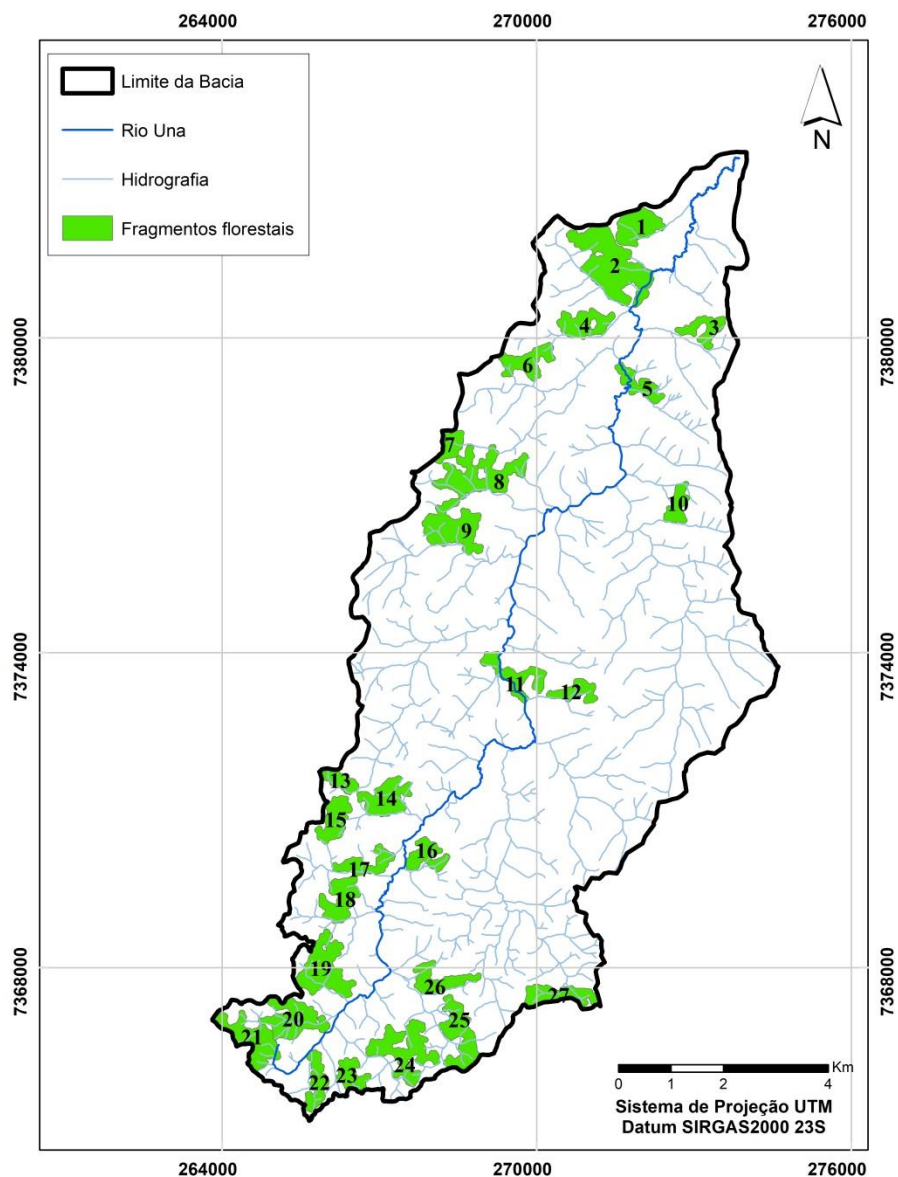
Fonte: Autoria própria.

5.3 Fragmentos florestais avaliados

O processo de seleção e remodelagem dos fragmentos florestais resultou em 27 fragmentos estudados, os quais foram identificados com numeração de 1 a 27.

A Figura 21 apresenta os fragmentos florestais remodelados utilizados para o presente estudo.

Figura 21. Fragmentos florestais estudados. Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

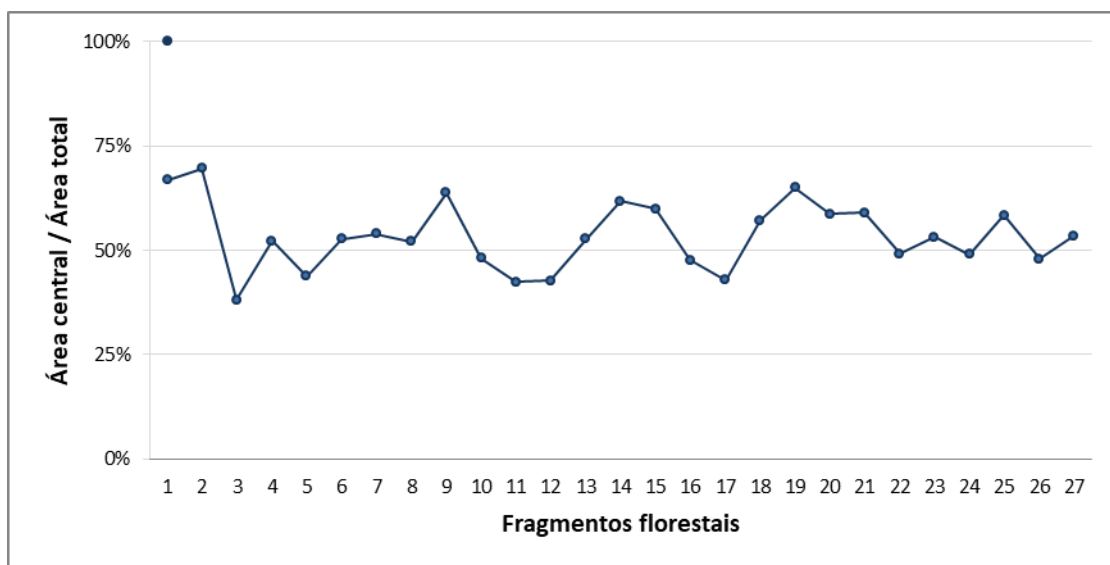
Dentre estes, a menor área central encontrada foi de 10,4129 ha (fragmento 12) e a maior foi de 87,3994 ha (fragmento 2). Para 10 dos 27 fragmentos, a área do efeito de borda é maior que a área central, sendo que para o fragmento 3 a área do efeito de borda equivaleu a 61,9% da área total do fragmento. A relação média da área central x área total do fragmento foi de 55,9%, o que significa que 44,1% são referentes à área de efeito de borda. A Tabela 4 apresenta os dados de área total, área central e a relação entre as áreas para os 27 fragmentos estudados.

Tabela 4. Dados das áreas dos 27 fragmentos estudados na área de estudo

Identificação dos fragmentos	Área total do fragmento (ha)	Área central do fragmento (ha)	Relação área central x área total (%)
1	45,60	30,47	66,8%
2	125,66	87,39	69,6%
3	27,78	10,57	38,1%
4	40,60	21,22	52,3%
5	29,43	12,90	43,8%
6	38,57	20,29	52,6%
7	21,11	11,37	53,9%
8	87,91	45,83	52,1%
9	71,14	45,35	63,8%
10	22,51	10,83	48,1%
11	41,98	17,81	42,4%
12	24,39	10,41	42,7%
13	19,78	10,43	52,7%
14	48,85	30,16	61,8%
15	37,07	22,19	59,9%
16	31,22	14,84	47,6%
17	31,29	13,42	42,9%
18	42,83	24,47	57,1%
19	75,32	48,98	65,0%
20	62,01	36,44	58,8%
21	59,15	34,91	59,0%
22	31,91	15,71	49,2%
23	26,32	13,99	53,2%
24	76,69	37,57	49,0%
25	58,46	34,11	58,4%
26	37,34	17,90	47,9%
27	40,18	21,47	53,4%

Fonte: Autoria própria.

A Figura 22 mostra o gráfico da relação área central x área total.

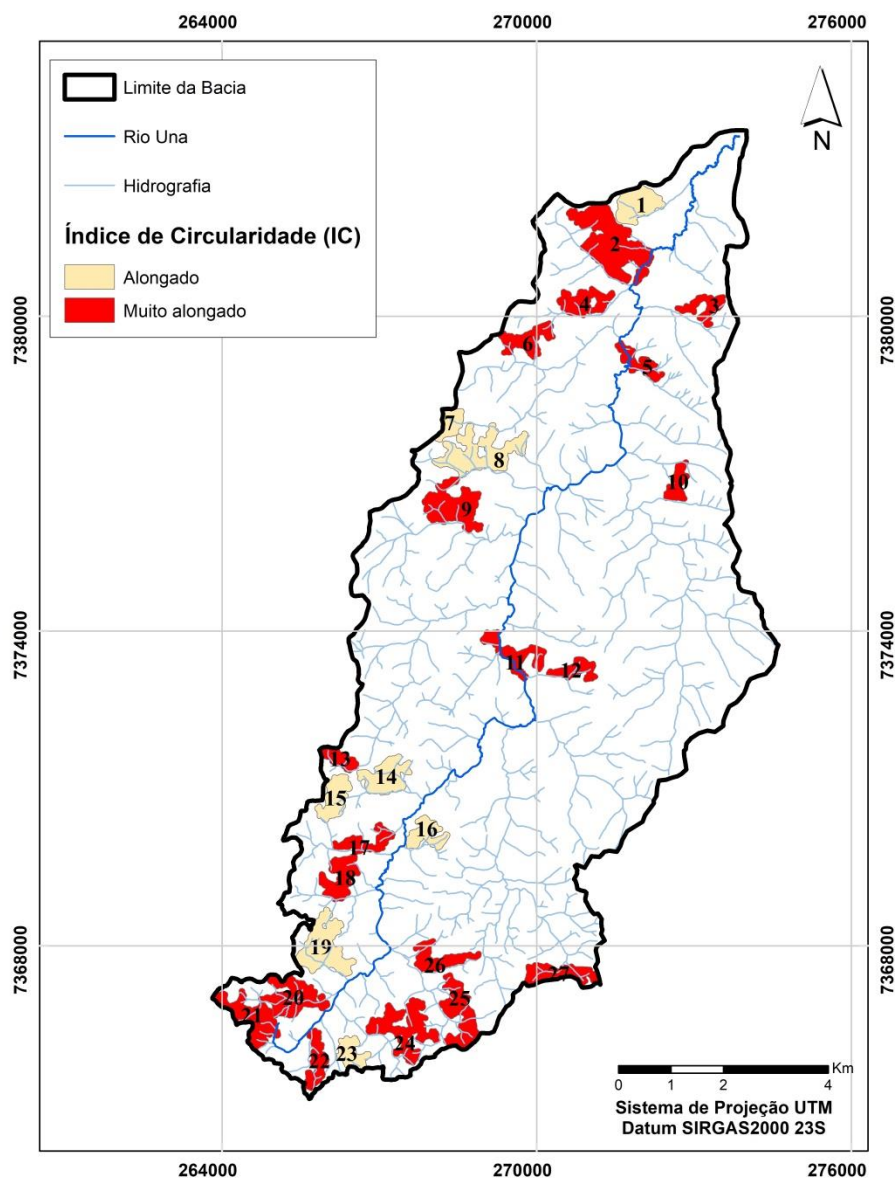
Figura 22. Relação área central / área total dos fragmentos.

Fonte: Autoria própria.

5.4 Índice de Circularidade (IC)

Este índice demonstra a forma do fragmento florestal, ou seja, se o mesmo possui formato mais alongado ou circular. Conforme Viana e Pinheiro (1998), fragmentos com índices menores que 0,6 são considerados como muito alongados, entre 0,6 e 0,8 são considerados como alongados e acima de 0,8 são arredondados. A Figura 23 apresenta o Mapa de IC para os fragmentos florestais estudados na bacia.

Figura 23. Índices de Circularidade dos fragmentos florestais analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Os valores de IC para os fragmentos florestais estudados variaram de 0,39 (fragmentos 9 e 24) a 0,79 (fragmento 1), não tendo nenhum fragmento classificado como arredondado (IC maior que 0,8). Do total de fragmentos, 19 deles foram classificados como muito alongados (70,4% do total) e os 8 fragmentos restantes foram classificados como alongados (29,6% do total).

Sales (2015), em trabalho realizado em 15 fragmentos florestais da mesma bacia, encontrou a proporção de 20% de fragmentos alongados e 80% de fragmentos muito alongados, não encontrando fragmentos classificados como arredondados em seu estudo.

Viana e Pinheiro (1998) também encontraram valores discrepantes na relação entre a forma arredondada com as formas alongadas e muito alongadas, apresentando proporções de 13,1%, 51,9% e 35,0%, respectivamente.

Formas alongadas e irregulares tendem a prejudicar a conservação da biodiversidade do local (LAURANCE & VASCONCELOS, 2009) ao passo que formas arredondadas são menos propensas ao efeito de borda (VIANA & PINHEIRO, 1998).

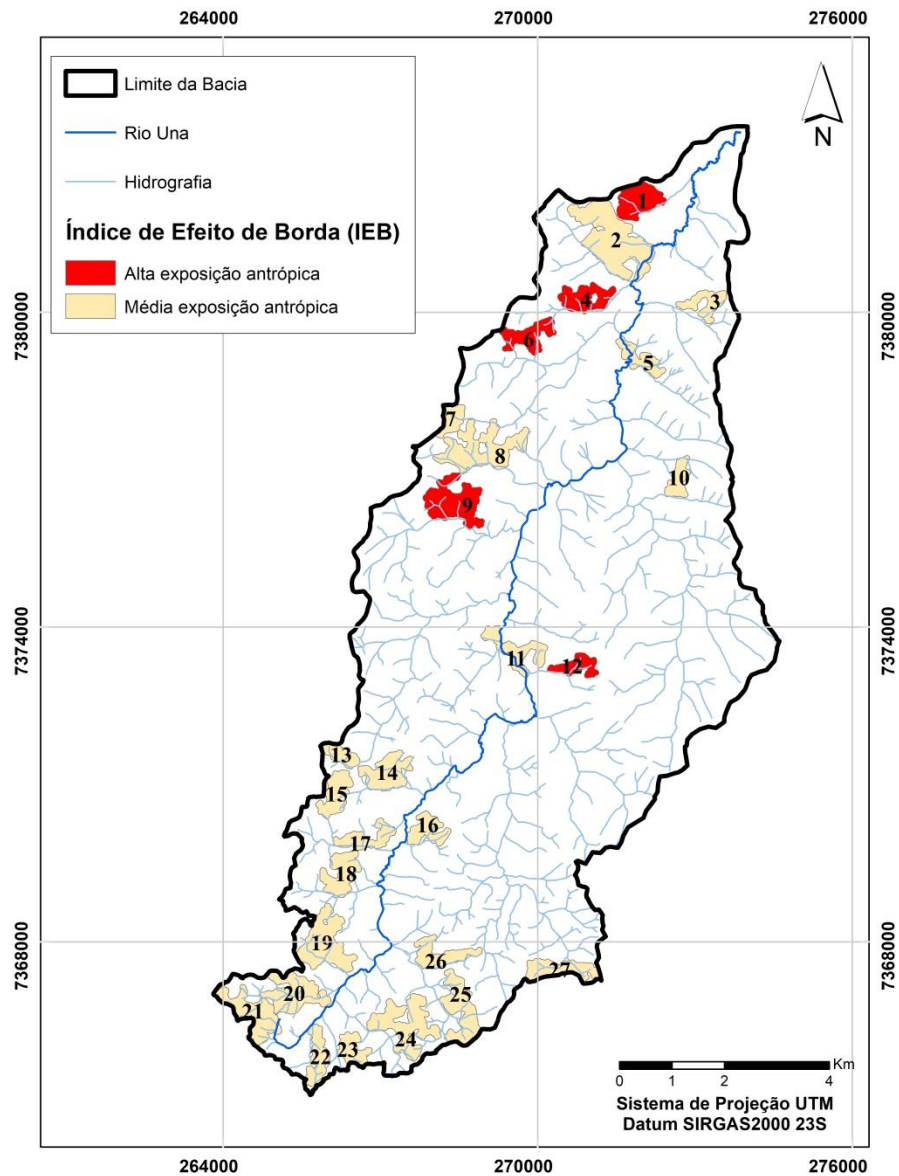
5.5 Índice de Efeito de Borda (IEB)

Os diferentes usos e ocupações do entorno do fragmento influencia na pressão recebida na borda destes, sendo que podem facilitar sua expansão ou impor barreiras para o desenvolvimento da vegetação (SALES, 2015).

Os resultados foram classificados em alta, média e baixa exposição antrópica, sendo que valores abaixo de 0,4 referem-se à alta exposição antrópica; valores entre 0,4 e 0,7 à média exposição antrópica e acima de 0,7 à baixa exposição antrópica.

A Figura 24 mostra o mapa de IEB dos fragmentos florestais estudados.

Figura 24. Índices de Efeito de Borda dos fragmentos florestais da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

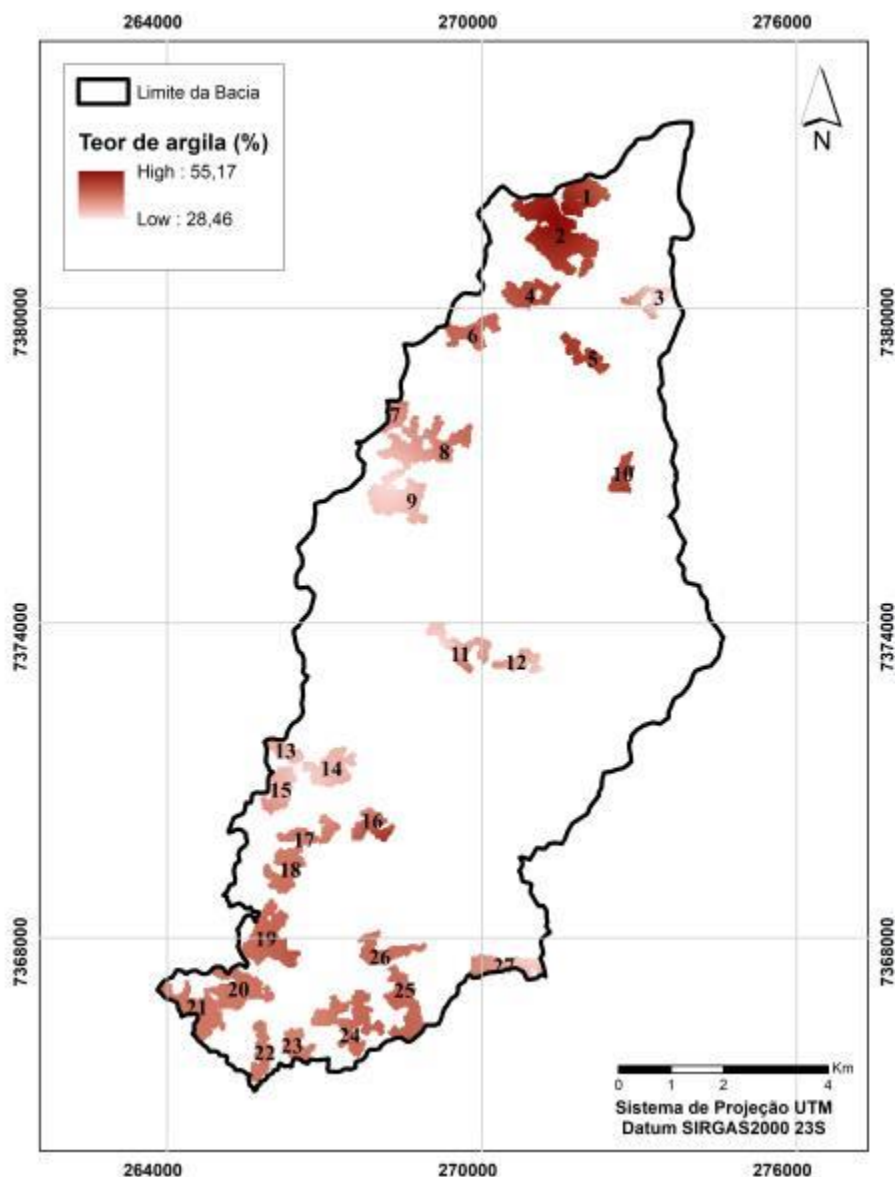
Foram encontrados os valores de IEB com amplitude de 0,33 à 0,65 para os fragmentos 12 e 3, respectivamente. Dos 27 fragmentos estudados, 5 fragmentos (18,5%) foram classificados como de alta exposição antrópica e 22 (81,5%) como de média exposição antrópica, não ocorrendo fragmentos com baixa exposição antrópica. Os fragmentos com os piores cenários ocorreram devido à combinação das maiores proporções no tipo de uso da terra que apresentam mais restrição ao desenvolvimento do fragmento, como áreas urbanas e áreas rurais, as quais se apresentam como barreiras intransponíveis, e culturas temporárias e pastagens, onde a intensa utilização antrópica inviabiliza a expansão da vegetação. A fragmentação e alterações nas bordas dos fragmentos podem promover alterações nas

condições do local, afetando parâmetros físicos, químicos e biológicos, como a disponibilidade energética, fluxo de organismos entre os ambientes, incidência solar, umidade, vento nas bordas dos fragmentos, distribuição e abundância de espécies e interação entre organismos (WIENS et al, 1993; BRASIL, 2003; BARRERA, 2004).

5.6 Índice de Qualidade Biofísica do Fragmento (IQBF)

Com os dados obtidos na análise das amostras de solo coletadas, através da interpolação IQD foi gerado o Mapa da Porcentagem de Argila para toda a bacia. Posteriormente, estes dados foram extraídos somente para os fragmentos (FIGURA 25).

Figura 25. Mapa da Porcentagem de Argila da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Os valores encontrados para cada fragmento referem-se à média do teor de argila, gerado após a interpolação IQD. O menor valor encontrado foi de 28,46% para o fragmento 9 e o maior foi de 55,17% para o fragmento 2.

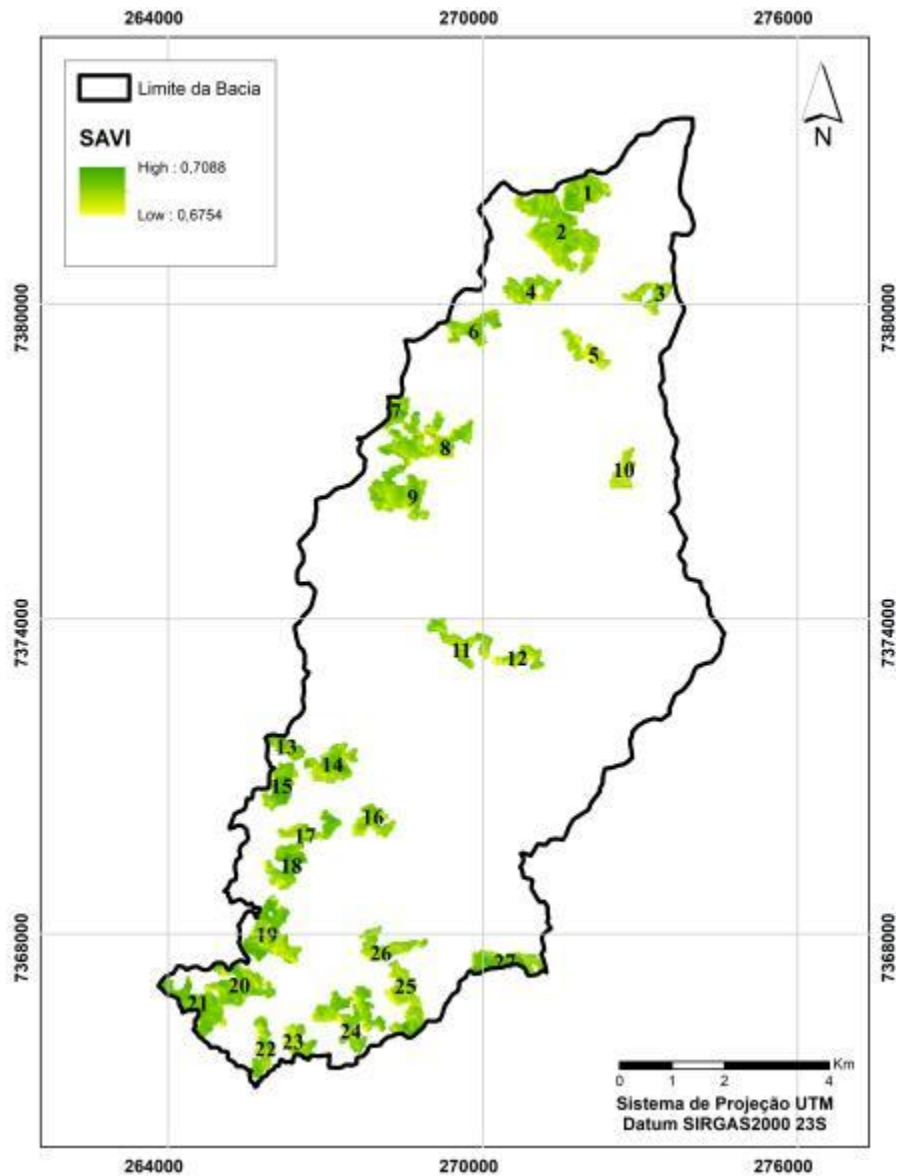
Solos com maior teor de argila favorecem a agregação das partículas, pois auxilia na aproximação das partículas do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011, SILVA et al., 2014). Também, devido à sua maior superfície específica em relação aos solos arenosos, os solos com maiores teores de argila possuem maior capacidade de retenção de água (LOPES, 1998), sendo que a umidade no solo, assim como a temperatura, é considerada como um dos

principais fatores que afetam a atividade biológica, influenciando na decomposição da matéria orgânica (LA ESCALA et al., 2000; DIAS, 2006)

A seguir é apresentado o Mapa do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI. Este mapa representa os valores médios extraídos por fragmento estudado (FIGURA 26).

Índices de vegetação, como o SAVI, permitem avaliar o vigor vegetativo, identificar desmatamentos, monitorar a cobertura vegetal, avaliar áreas de queimadas e apoiar na previsão da produção agrícola (EPIPHANIO et al, 1996; MARCUSSI et al., 2010). Segundo Rosa (2009), os índices de vegetação, por se utilizarem das faixas do vermelho e do infravermelho próximo, correlacionam-se com os parâmetros biofísicos da vegetação, uma vez que estas faixas representam mais de 90% da variação da resposta espectral.

Figura 26. SAVI dos fragmentos florestais estudados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.

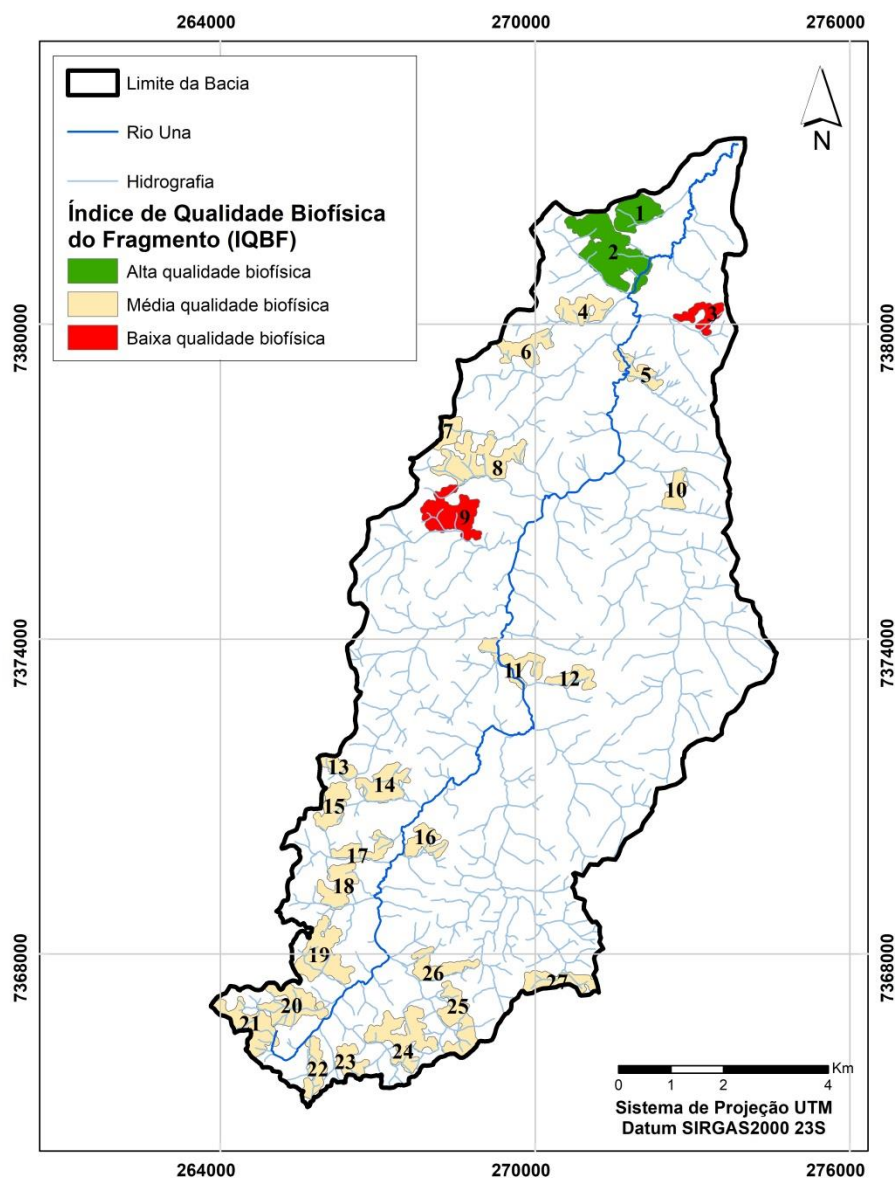


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores médios do SAVI encontrados ficaram entre 0,6754 e 0,7088, sendo o menor valor encontrado para o fragmento 10 e o maior para o fragmento 15.

Através da média entre os valores de porcentagem de argila e SAVI elaborado o Mapa de Índice de Qualidade Biofísica dos fragmentos florestais da área de estudo (FIGURA 27). Estes valores foram classificados em baixa, média e alta qualidade biofísica para os valores menores que 0,5, entre 0,5 e 0,6 e maiores que 0,6, respectivamente.

Figura 27. Índices de Qualidade Biofísica dos fragmentos florestais analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores encontrados tiveram variação entre 0,49 (fragmentos 3 e 9) e 0,62 (fragmento 2). Dos 27 fragmentos estudados, 2 fragmentos (7,4%) foram classificados como de baixa qualidade biofísica, 23 (85,2%) como média qualidade biofísica e 2 (7,4%) como alta qualidade biofísica.

Para os nove maiores IQBF encontrados, os valores de teores de argila também foram os maiores, mantendo a mesma ordem citada anteriormente (TABELA 5). Isto demonstra que a maior amplitude nos valores do teor de argila influenciou diretamente no resultado obtido,

devido à amplitude encontrada para este ser aproximadamente 8 vezes maior que a amplitude encontrada para os valores de SAVI.

Tabela 5. Valores de IQBF, teor de argila e SAVI dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Fragmento	IQBF		Teor de Argila		SAVI	
	Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação
2	0,62	1	55,17%	1	0,6925	16
1	0,61	2	51,69%	2	0,6971	6
5	0,59	3	50,81%	3	0,6756	26
10	0,59	4	49,89%	4	0,6754	27
4	0,59	5	48,26%	5	0,6892	19
16	0,57	6	44,65%	6	0,6918	17
19	0,57	7	43,78%	7	0,6942	13
6	0,57	8	43,46%	8	0,6963	8
25	0,56	9	43,37%	9	0,6880	20
24	0,56	10	42,19%	11	0,6954	10
21	0,56	11	40,87%	14	0,7035	2
26	0,55	12	42,34%	10	0,6856	24
18	0,55	13	40,89%	13	0,6998	4
20	0,55	14	41,20%	12	0,6947	11
22	0,55	15	40,64%	15	0,6932	14
17	0,55	16	39,76%	17	0,6965	7
23	0,54	17	39,76%	16	0,6857	23
7	0,54	18	37,24%	18	0,6994	5
8	0,53	19	36,44%	19	0,6913	18
27	0,52	20	33,32%	20	0,7030	3
15	0,52	21	32,24%	23	0,7088	1
11	0,51	22	32,35%	22	0,6872	22
12	0,51	23	32,58%	21	0,6847	25
13	0,50	24	31,35%	24	0,6926	15
14	0,50	25	30,10%	25	0,6956	9
9	0,49	26	28,46%	27	0,6942	12
3	0,49	27	28,96%	26	0,6872	21

Fonte: Autoria própria.

5.7 Indicador de Fragilidade Florestal (IFF)

O Indicador de fragilidade florestal (IFF) foi calculado através da média ponderada dos índices apresentados anteriormente. Os pesos atribuídos para cada índice foi definido através do método AHP, a qual se utiliza de uma matriz de comparação de pares como base constituinte do método. A matriz de comparação (FIGURA 28) foi realizada através da análise pareada dos atributos, mediante consulta à pesquisadores das áreas da geografia, engenharia ambiental, biologia, tecnologia em silvicultura e engenharia florestal do laboratório de geoprocessamento da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Sorocaba, sendo que estas análises são baseadas na experiência, intuição e dados físicos do avaliador, focando sempre o objetivo principal (FONTANIVE et al., 2017).

Figura 28. Matriz de comparação de pares.

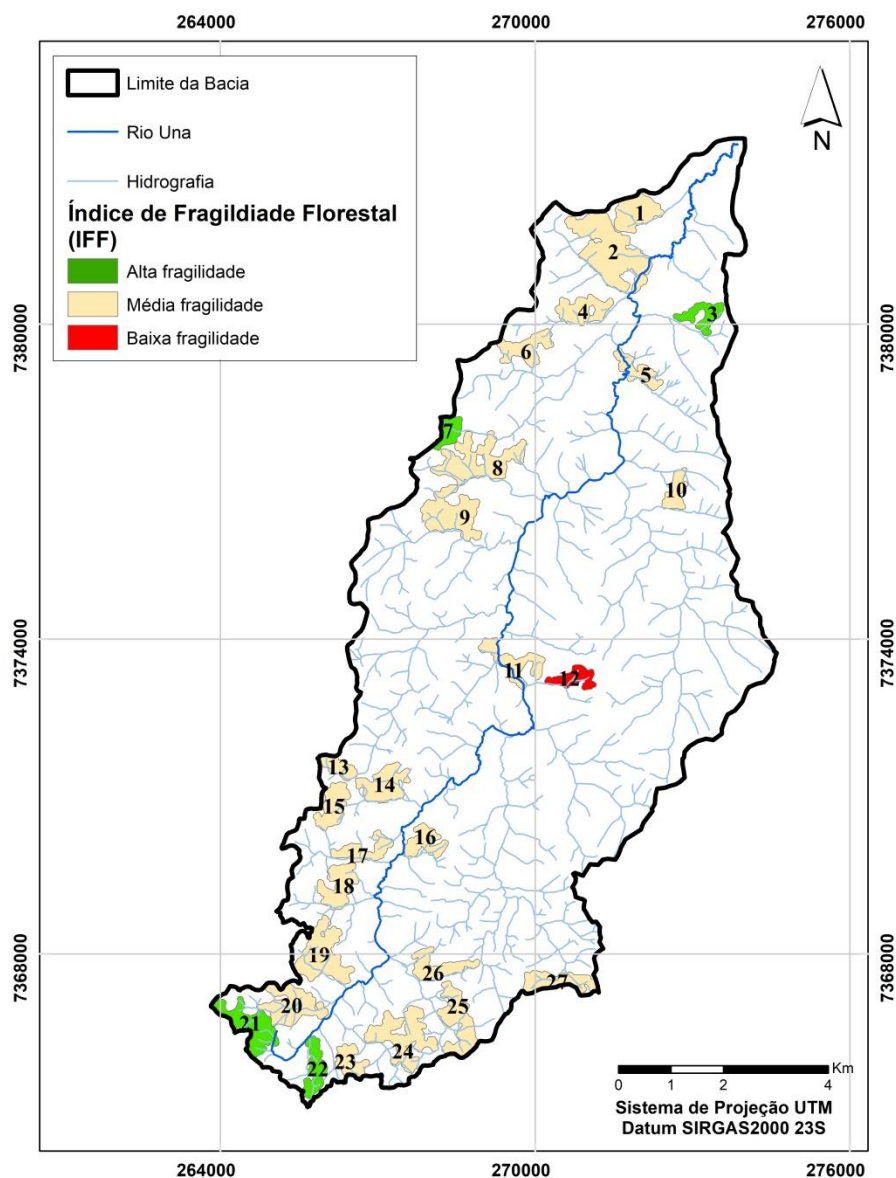
	IC	IEB	IQBF
IC	1	1/7	1/4
IEB	7	1	4
IQBF	4	1/4	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pesos encontrados foram de 0,09 para o índice de circularidade (IC), 0,70 para o índice de efeito de borda (IEB) e 0,21 para o índice de qualidade biofísica do fragmento (IBQF). O autovalor máximo obtido foi de 3,1. O índice de consistência (CI) da AHP foi 0,05 e a razão de consistência (RC) obtida foi de 8,8%. Segundo Saaty (1990), deve-se obter uma razão de consistência menor que 10% pra que o grau de consistência seja considerado satisfatório.

A Figura 29 mostra o Mapa de Indicador de Fragilidade Florestal dos fragmentos analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP. Foram definidas três categorias de classificação, sendo baixa fragilidade para os valores menores que 0,40, média fragilidade para os valores entre 0,4 e 0,6 e alta fragilidade para os valores maiores que 0,6.

Figura 29. Indicador de Fragilidade Florestal dos fragmentos analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Dos 27 fragmentos, 1 foi classificado como de baixa fragilidade, 22 como média fragilidade e 4 como alta fragilidade, o que representou 3,7%, 81,5% e 14,8%, respectivamente.

Os indicadores de fragilidade florestal encontrados apresentaram uma amplitude de 0,23, sendo 0,62 o maior valor e 0,39 o menor. O valor médio dos resultados obtidos foi 0,50, com desvio padrão de 0,07.

O maior valor foi encontrado para o fragmento 21, o qual apresentou o 18º maior valor de IC, 2º valor de IEB e o 11º valor de IQBF. Com isto, pode-se afirmar que o fato do

peso do IEB ser quase 8 vezes maior que o IC e mais que 3 vezes maior que o IQBF contribuiu diretamente para os resultados obtidos. Isto pode ser comprovado pelo fato dos quinze maiores valores de IFF também serem os 15 maiores de IEB.

Já o menor valor foi obtido no fragmento 12. Seu IFF foi resultante do 9º valor de IC, 27º de IEB e 23º de IQBF. Apesar de ter o valor do IC entre os 10 melhores, o baixo peso atribuído ao índice fez com que não contribuísse significativamente para que o cenário deste fragmento fosse melhorado. Também, o fragmento obteve o pior valor de IEB dentre todos os fragmentos estudados, devido à grande influência da predominância de cultura temporária em seu entorno, representando mais de 71% da área total de influência. Já o IQBF foi formado pelo 21º valor de teor de argila e o 25º valor de SAVI. A Tabela 6 apresenta os valores dos índices e do indicador, bem como seus resultados estatísticos apresentados acima.

Tabela 6. Valores de IFF, ordenados do maior para o menor valor, dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Ordem	Fragmento	IC	IEB	IQBF	IFF
1	21	0,54	0,64	0,56	0,62
2	7	0,61	0,63	0,54	0,61
3	3	0,52	0,65	0,49	0,60
4	22	0,59	0,61	0,55	0,60
5	18	0,53	0,61	0,55	0,59
6	25	0,58	0,59	0,56	0,58
7	27	0,58	0,58	0,52	0,57
8	13	0,58	0,54	0,50	0,53
9	5	0,56	0,52	0,59	0,53
10	20	0,56	0,51	0,55	0,52
11	8	0,77	0,48	0,53	0,51
12	16	0,67	0,47	0,57	0,51
13	2	0,51	0,47	0,62	0,50
14	19	0,69	0,46	0,57	0,50
15	23	0,69	0,45	0,54	0,49
16	10	0,54	0,45	0,59	0,49
17	17	0,53	0,44	0,55	0,47
18	1	0,79	0,39	0,61	0,47
19	24	0,39	0,45	0,56	0,47
20	14	0,78	0,42	0,50	0,47
21	15	0,64	0,43	0,52	0,46
22	26	0,54	0,42	0,55	0,46
23	4	0,58	0,36	0,59	0,43

Ordem	Fragmento	IC	IEB	IQBF	IFF
24	11	0,46	0,40	0,51	0,43
25	6	0,58	0,35	0,57	0,42
26	9	0,39	0,39	0,49	0,41
27	12	0,59	0,33	0,51	0,39
Média		0,58	0,48	0,55	0,50
Desvio padrão		0,10	0,09	0,04	0,07
Coefficiente de variação		0,17	0,20	0,07	0,13
Amplitude		0,40	0,32	0,13	0,23

Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÕES

A metodologia elaborada neste trabalho para identificação dos fragmentos florestais prioritários apresentou ser um recurso que pode contribuir com entidades ambientais públicas e privadas na gestão e planejamento de ações que visem à proteção ambiental.

Os índices utilizados para a composição do indicador de fragilidade florestal permitiram avaliar os diversos fatores que podem influenciar na vulnerabilidade dos fragmentos florestais.

O método utilizado para atribuir pesos denotou a importância do tipo de uso da terra adjacente aos fragmentos florestais, uma vez que os resultados relacionados a este parâmetro tiveram maior representatividade no resultado final.

Este processo metodológico pode ser replicado para outras áreas, de forma a fortalecer a importância da proteção dos remanescentes florestais.

Por fim, este trabalho demonstrou mais uma das inúmeras possibilidades de utilização das ferramentas do Geoprocessamento.

REFERÊNCIAS

- AEGRO. **Entenda porque você precisa saber sobre a CTC do seu solo**. 2018. Disponível em: < <https://blog.aegro.com.br/ctc-do-solo/>>. Acesso em 02 out. 2019.
- AMORIM, A. T.; SOUSA, J. A. P.; LOURENÇO, R. W. Indicador dos estágios de sucessão de fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica. **Rev. Bras. Cartogr.**, vol. 71, n. 3, julho/setembro, 2019. pp. 756 – 780
- ANDRADE, F. M. Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Una – Ibiúna/SP. 2016.
- ANDREOTI, C. E. **Avaliação a eficiência de um sistema agroflorestal na recuperação de um solo degradado por pastoreio**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 121p., 2012.
- ARRAES, R. de A. e; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119–140, mar. 2012.
- AYRES, J. M. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**. 1ª ed. Belém, PA. 2005.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, Toulouse, v. 35, p. 161-173, 1991.
- BARRERA, L. F. Estructura y Función en Bordes de Bosques. **Ecossistemas**, v. 12, n. 1, p. 67-77, Enero 2004.
- BILAR, A. B. C.; PIMENTEL, R. M. M.; CERQUEIRA, M. A. Monitoramento da cobertura vegetal através de índices biofísicos e gestão de áreas protegidas. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 68, p.236-259, set./dez. 2018.
- BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. S.; CÔRREA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1952-1960, 2013.
- BORGES, L. F. R., SCOLFORO, J. P., OLIVEIRA, A. D., MELLO, J. D, ACERBI JUNIOR, F. W.; FREITAS, G. D. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, 10(1): 22-38, 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a diversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SBF, 2003. 510 p. (Série Biodiversidade, 6)
- _____. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, v. 119, n. 167, p. 16509, 2 set. 1981. Seção 1.

BREGMAN, T. P.; SEKERCIOGLU, C. H.; TOBIAS, J. A. Global Patterns and Predictors of Bird Species Responses to Forest Fragmentation: Implications for Ecosystem Function and Conservation. **Biological Conservation**, v. 169, p. 372–383, jan. 2014.

BRITES, R. S., SOARES, V. P., COSTA, T. C. C., NETO, A. S. **Geoprocessamento e Meio Ambiente**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas/MG. Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento. Poços de Caldas, Anais. Poços de Caldas. UFLA/SBEA, p. 141-163. 1998.

BURROUGH, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 333p. 1998.

CÂMARA, I. G. Brief history of conservation in the Atlantic Forest. In C. Galindo-Leal & I. G. Câmara (eds.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats and outlook**. p. 31-42. Center for Applied Biodiversity Science and Island Press. Washington, D.C., 2003.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução: por que geoprocessamento? In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). **Fundamentos de geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 345p., 2001.

CARVALHO, C. G. **O meio ambiente nos tribunais: do direito de vizinhança ao direito ambiental**. São Paulo: Método, 1286p., 2003.

CARVALHO, W. A. C. et al. Variação espacial da estrutura da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua em Piedade do Rio Grande, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 2, jun. 2007.

CIAGRO. CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEREOLÓGICAS. Série histórica de pluviosidade mensal de Sorocaba – SP. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>> Acesso em: 10 mai. 2019

COSTA, T. C.; BELDERRAIN, M. C. N. **Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão**. Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA XV ENCITA. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, 2009.

DATAGEO - **Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em 10 out. 2018.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo: A História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira**. Companhia das Letras, São Paulo, 1995.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

DRANSKI, A. Espacialização de atributos químicos e do teor de argila e suas relações com as curvas espectrais em área de latossolo bruno. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. 2016.

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. 1-28, 2017

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO J. Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. 61(5): 539-547, 1995.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESRI (2015), ArcGis 10.3 Copyright© ESRI Inc.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 487–515, 2003.

FLETCHER, R. J. Multiple Edge Effects and Their Implications in Fragmented Landscapes. **Journal of Animal Ecology**, v. 74, n. 2, p. 342–352, 2005.

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

FONTANIVE, F.; CORSO, L. L.; ZEILMANN, R. P.; BIASIN, R. N. Aplicação do Método de Análise Multicriterial AHP como Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão. **Espacios**, v. 38, p. 6, 2017.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1995 - 2000**. Relatório final. São Paulo. 2002.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE & INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1990-1995**. São Paulo. 1998.

GALINDO-LEAL, C. & CÂMARA, I. DE G. Mata Atlântica. Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas. In: TABARELLI, M. PINTO, L.P., CARDOSO DA SILVA, J.M., COSTA, C. M. R. **Espécies ameaçadas e planejamento da conservação**. Capítulo 8. Fundação SOS Mata Atlântica. Belo Horizonte. p 86-94. 2005.

GIMENES, M. R.; ANJOS, L. DOS. Efeitos da fragmentação florestal sobre as comunidades de aves. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences. Maringá, v. 25, n. 2, p. 391-402, 2003.

GOMES, K. G. A. **Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB**. Dissertação (Mestrado em Logística) - Departamento de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNAMO, C. **Tomada de Decisão em Cenários Complexos**: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério à Decisão. Tradutora Técnica Marcella Cecília Gonzáles Araya. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004, p. 168.

GOMIDE, L.R.; LINGNAU, C. Simulação espacial de uma paisagem sob o efeito borda. **Revista Floresta**, v.39, n.2, p.441-455, 2009.

GREGGIO, T.C.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M. Avaliação dos fragmentos florestais do município de Jaboticabal - SP. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.117-124, 2009.

HANSKI, I.; GILPIN, M. E. Metapopulation Biology: Ecology, Genetics and Evolution. **Academic Press**, San Diego, CA, 1997.

HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, p. 651-656, 1980.

HOUGHTON, J. T; DING Y.; GRIGGS, D.J. ; NOGUER, M; VAN DER LINDEN, P.J; DAI, X; MASKELL, K ;JOHNSON, C.A. CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS: contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2001.

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

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Boletim técnico 106** - Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas: IAC, 2009. 77p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em 18 mai. 2018.

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

IBIÚNA. Dados da cidade. Disponível em <http://www.ibiuna.sp.gov.br/menu/a-cidade>. Acesso em 08 mai. 2018.

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

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459–473, 1 nov. 2014.

KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of tropical patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 5, p. 173-185, 1989.

LA ESCALA Jr., N.; MARQUES J. R.; PEREIRA, J. T.; CORA, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from Brazilian bare soil. **Soil biology & biochemistry**, v. 32, p. 1459-1462, 2000.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia brasiliensis**, v. 13, n. 03, p. 434–451, set. 2009.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v.8, n.2, p.1-7, 2013.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 177p. 1998.

LOPES, E. R. N. **Zoneamento ecológico-econômico: diretrizes, parâmetros e técnicas para a gestão ambiental de bacias hidrográficas**. 2018. 173p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, São Paulo, 2018.

LOPES, E. R. N.; SALES, J. C. A.; AMORIM, A. T.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Losses on the Atlantic mata vegetation induced by land use changes. **Cerne**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 121-132, 2018.

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**, v. 33, n. 66, p.105-127, Florianópolis, 2018.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Elaboração de uma metodologia de avaliação de fragmentos de remanescentes florestais como ferramenta de gestão e planejamento ambiental. **Ambiência**, v.10, n.3 p. 685 – 698, 2014.

LOUZADA, F. L. R. O. Proposta de corredor ecológico para interligação dos parques estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, ES, utilizando geotecnologias. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2010.

MACHADO, E. L. M.; GONZAGA, A. P. D.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; GOMES, J. E. Importância da avifauna em programas de recuperação de áreas degradadas. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, N° 07, 2006.

MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, 2010. p. 41 – 53.

MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; RUIZ-BENITO, P.; ZAVALA, M. A. Recent Land Cover Changes in Spain across Biogeographical Regions and Protection Levels: Implications for Conservation Policies. **Land Use Policy**, v. 44, p. 62–75, mar. 2015.

MATLACK, G. R. Microclimate variation within and among deciduous forest edge sites. **Biological Conservation**. (in press). 1993.

MCGARIGAL, K. Fragstats 3.3: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University, 2002.

MENEGUZZO, I. S.; CHAICOUSKI, A. Reflexões acerca dos conceitos de degradação ambiental, impacto ambiental e conservação da natureza. p. 5, 2010.

METZGER, J. P. O Código Florestal tem base científica? **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 1, p. 1-5, 2010.

MICROSOFT OFFICE PROFESSIONAL PLUS (2013). Microsoft Excel 2013.

MITTERMEIER, R. A., GIL, P. R., Hoffman, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C. G., LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B. Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. CEMEX & Agrupación Sierra Madre, Cidade do México. 2004.

MORAES, M. E.B.; GOMES, R. L.; TREVENIN, 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. **Cadernos de Geografia**, Belo Horizonte, v. 13, n. 41, p:159-169, 2012.

MORI, S. A. Eastern, Extra-amazonian Brazil. In: **Floristic inventory of tropical countries**. (D.G. Campbell & H.D. Hammond, eds.). New York Botanical Garden, New York, 1988.
MORELLATO, L.P.C., HADDAD, C.F.B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, n. 32, p. 786-792, 2000.

MOURA, M. A. I.; PRADO, F. de B. **A Mata Atlântica em Alagoas**. p. 89, 2006.
MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, 10(2): 58-62, 1995.

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.
NOVO, E. M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. Ed. Blucher, 2010. 387 p.

OLIVEIRA, C. A.; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades no AHP**. Anales - Encuentro de Docentes de Investigación Operativa Primera Reunión Regional Brasil Argentina, Posadas, Argentina. 2008.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. esp., p. 2821-2829, 2008.

OLIVEIRA, L. S. C.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; LIMA, A. S.; CARDOSO, M. S. O.; DOS SANTOS, W. B. Efeito de borda em remanescentes de floresta atlântica na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco. **Cerne**, v.21, n.2, p.169-174, 2015.

- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, v. 32 (4b), p. 793-810, 2000.
- OSIPOV, V. I. Anthropization and Current Tasks of Earth Sciences. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, v. 86, n. 4, p. 276–284, jul. 2016.
- OSTOVARI, Y.; HONARBAKHS, A.; SANGOONY, H.; ZOLFAGHARI, F.; MALEKI, K. & INGRAM, B. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions, **Ecological Indicators**, 103, 479-487, 2019.
- PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**. n. 30, p. 30-43, 2011.
- PARANHOS FILHO, A. C. **Análise Geo-Ambiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho**. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 213 p. 2000.
- PEREIRA, M. A. S.; NEVES, N. A. G. S.; FIGUEIREDO, D. F. C. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. **Geografia** - Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências, v.16, n.2. 2007.
- PINTO, L. P. S.; COSTA, J. P. O.; FONSECA, G. A. B. & COSTA, E. C. M. R. **Mata Atlântica: ciência, conservação e políticas**. Documentos Ambientais, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, São Paulo. (eds.). 1997.
- PIROVANI, D. B. **Fragmentação florestal dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1 ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.
- PRADO, F. B.; VASCONCELOS, F. C. W.; CHIODI, C. K. Regime jurídico da Mata Atlântica e o risco à sobrevivência in situ de espécies ameaçadas. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 1–16, jun. 2014.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; 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** (142), p.1144-1156, 2009.
- RODRIGUES, E. **Ecologia de fragmentos florestais ao longo de um gradiente de urbanização em Londrina-PR**. Dissertação (Mestrado em Ecologia)- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1993.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7ª ed., Uberlândia: EDUFU, 264 p. 2009.
- SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal**, North Holland, n. 9, p. 9-26. 1990.

SAATY, T. L. An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process. **Management Science**, 36, 259–268. 1990.

SAATY, T. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill. 1991.

SALATI, E.; SANTOS, Â. A. dos; KLABIN, I. Temas ambientais relevantes. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 56, p. 107–127, abr. 2006.

SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e Prioritárias para conservação da avifauna na bacia Hidrográfica do RIO Una, Ibiúna/SP**. 2015. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, São Paulo, 2015.

SALES, J. C. A.; LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; PADOVANNI, N. G.; MORAIS, M. C. M. Composição do índice de exposição antrópica de fragmentos florestais da bacia hidrográfica do Rio Una, Ibiúna/São Paulo. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Santos-SP, 2017. pp. 249-256.

SAMPAIO, R. C. N. **Efeito de borda em um fragmento de floresta estacional semidecidual no interior do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UNESP, Botucatu, 95F., 2011.

SANTOS, A. A. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no parque estadual da Serra do Rola Moça**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, 2010.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, J. B. E.; PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, G. M. A. D. A. S. Org. Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais [recurso eletrônico] - Alegre, ES: CAUFES, 249 p. 2012.

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.

SILVA, A. S.; SILVA, I. D. F.; BANDEIRA, L. B., DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. D. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência rural**, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014a.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S.; ASSIS, D. R. S.; SANTANA, S. H. C.; GANVÍNCIO, S. D. O desafio da gestão ambiental de florestas urbanas: análise da degradação ambiental da Reserva de Floresta Urbana Mata do Janga - PE através de técnicas de sensoriamento remoto. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.454-469, 2018.

SILVA, J. M. C., CASTELETI, C. H. M. Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. In: C. Galindo-Leal & I.G. Câmara (eds.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats and outlook**. p. 43-59. Center for Applied Biodiversity Science and Island Press. Washington, D.C. 2003.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**. n.8, novembro/2007.

SOS Mata Atlântica. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/nossas-causas/mata-atlantica/>>. Acesso em: 6 set. 2019.

SOUZA, C. H. G.; GALI, B. Geoprocessamento aplicado no município de São José do Rio Preto: do cadastro ao plano diretor. **II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, v. 1, p. 604-610, 2007.

SOUZA, J. C.; LOPES, E. R. N.; SOUSA, J. A. P.; LOURENÇO, R. W. Avaliação dos aspectos físico-químicos dos solos em diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 49, p. 123-139, 2018.

SOUZA, J. C.; LOPES, E. R. N.; SOUSA, J. A. P.; PADOVANNI, N. G.; LOURENÇO, R. W. Dinâmica Espacial e Sazonal da Temperatura, Umidade e Estresse Hídrico em Diferentes Tipos de Cobertura Vegetal. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 80-94, 2019.

TRINDADE, F. S.; ALVES, M. C.; NOETZOLD, R.; ANDRADE, I. C.; POZZA, A. A. A. Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. **Amazonian journal of agricultural and environmental sciences / Revista de ciências agrárias**, v. 62, p. 1-11, 2019.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: Retrocesso ambiental. **Estudos Avançados** [online]. 24: P. 147-160, 2010.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **R Bras Ci Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

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, p. 113-118, 1990.

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

VIANA, V. M., TABANEZ, A. J. A. & MARTINEZ, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. *Instituto Florestal de São Paulo*, 4(2): 86-94. 1992.

WIENS, J. A.; STENSETH, N. C.; VAN HORNE, B. & IMS, R. A. Ecological mechanisms and landscape ecology. **Oikos** 66: 369-380. 1993.

WORBOYS, M. F.; DUCKHAM, M. **GIS: a computing perspective**. CRC press, 2004.

YOUNG, B. E. et al. **Joyas que están desapareciendo: El estado de los anfibios en el nuevo mundo**. Arlington, Virgínia: NatureServe, 2004.