

FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT EM REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL: ANÁLISE ESPACIAL BASEADA EM MÉTRICAS DA PAISAGEM

HABITAT FRAGMENTATION IN ATLANTIC FOREST REMNANTS
IN SOUTHERN BRAZIL: SPATIAL ANALYSIS BASED
ON LANDSCAPE METRICS.

FRAGMENTACIÓN DEL HÁBITAT EN RESTOS DE BOSQUE
ATLÁNTICO EN EL SUR DE BRASIL: ANÁLISIS ESPACIAL BASADO
EN MÉTRICAS PAISAJES

Juliana Gisele Gottschalk Petzinger¹

 0009-0003-7698-3891

juliana-petzinger@uergs.edu.br

Márcia dos Santos Ramos Berreta²

 0000-0001-8302-091X

marcia-berreta@uergs.edu.br

¹ Bacharel em Gestão Ambiental pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7698-3891>. E-mail: juliana-petzinger@uergs.edu.br.

² Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8302-091X>. E-mail: marcia-berreta@uergs.edu.br.

Artigo recebido em abril de 2024 e aceito para publicação em julho de 2024.



Este artigo está licenciado sob uma Licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: O processo persistente de retalhamento e subdivisão dos remanescentes da Mata Atlântica comprometem o *Hotspot* de diversidade biológica, o endemismo e os serviços ecossistêmicos indispensáveis a vida. Sob o viés da Ecologia da Paisagem, este artigo objetiva analisar a fragmentação estrutural do *habitat* dos remanescentes florestais de Mata Atlântica no sul do Brasil através de métricas da paisagem. O mapeamento de uso e cobertura da terra e fragmentos florestais utilizou imagens CBERS 4A/WPM, processadas a partir do QGIS 3.16, submetida as rotinas do FRAGSTATS 4.2® para cálculo dos índices de ecologia. Foram mapeados 870 fragmentos florestais com área de 15.176,06 ha, correspondendo a mais de 50% da superfície da área de estudo, com grande extensão de bordas e alto índice de retalhamento. Mais de 90% dos fragmentos são inferiores a 5 ha. A porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe é superior a 85%, correspondendo aos dois grandes fragmentos centrais (>150 ha) onde estão duas importantes unidades de conservação da região. A complexidade e sinuosidade das formas apresenta trechos irregulares e subdivididos que podem ser indicativos de vulnerabilidade para os fragmentos maiores. Contudo, a alta coesão dos remanescentes está atrelada ao grande percentual de fragmentos até 75 ha.

Palavras-chave: Estrutura da paisagem. Bacia hidrográfica. *Hotspot*. Conectividade. Isolamento.

ABSTRACT: The persistent process of shredding and subdivision of the remnants of the Atlantic Forest compromise the Hotspot of biological diversity, endemism and ecosystem services indispensable to life. Under the Landscape Ecology bias, this article aims to analyze the structural fragmentation of the habitat of forest remnants of the Atlantic Forest in southern Brazil through landscape metrics. The mapping of land use and cover and forest fragments used CBERS 4A/WPM images, processed from QGIS 3.16, submitted to the routines of FRAGSTATS 4.2® to calculate the ecology indexes. 870 forest fragments with an area of 15,176.06 ha were mapped, corresponding to more than 50% of the study area surface, with a large extension of edges and a high rate of shredding. More than 90% of the fragments are less than 5 ha. The percentage of the landscape occupied by the largest fragment of the class is higher than 85%, corresponding to the two large central fragments (>150 ha) where are two important conservation units of the region. The complexity and sinuosity of the shapes presents irregular and subdivided sections that may be indicative of vulnerability to the larger fragments. However, the high cohesion of the remnants is linked to the large percentage of fragments up to 75 ha.

Keywords: Landscape structure. Watershed. Hotspot. Connectivity. Isolation.

RESUMEN: El persistente proceso de trituración y subdivisión de los remanentes del Bosque Atlántico compromete el Hotspot de diversidad biológica, endemismo y servicios ecossistêmicos esenciales para la vida. Desde una perspectiva de la Ecología del Paisaje, este artículo tiene como objetivo analizar la fragmentación estructural del hábitat de los remanentes de Mata Atlántica en el sur de Brasil utilizando métricas de paisaje. El mapeo de uso y cobertura del suelo y fragmentos de bosque utilizó imágenes CBERS 4A/WPM, procesadas usando QGIS 3.16, sometidas a rutinas FRAGSTATS 4.2® para calcular índices ecológicos. Se cartografiaron 870 fragmentos de bosque con una superficie de 15.176,06 ha, correspondiente a más del 50% de la superficie del área de estudio, con una gran extensión de bordes y un alto índice de trituración. Más del 90% de los fragmentos tienen menos de 5 ha. El porcentaje del paisaje ocupado por el fragmento más grande de la clase es superior al 85%, correspondiente a los dos grandes fragmentos centrales (>150 ha) donde se ubican dos importantes unidades de conservación de la región. La complejidad y sinuosidad de las formas presenta secciones irregulares y subdivididas que pueden ser indicativas de vulnerabilidad para los fragmentos más grandes. Sin embargo, la alta cohesión de los remanentes está relacionada con el gran porcentaje de fragmentos de hasta 75 ha.

Palabras clave: Estructura del paisaje. Cuenca hidrográfica. Punto caliente. Conectividad. Aislamiento.

INTRODUÇÃO

Há uma iminente urgência de restauração tanto de áreas já degradadas quanto da conservação dos remanescentes do Bioma Mata Atlântica. A redução de áreas com cobertura florestal e não florestal nativas alertam para o alto índice de fragmentação e desconexão dentro da paisagem, bem como, a perda de *habitat*. Cerca de 57% dos municípios brasileiros possuem menos que 30% de vegetação nativa de acordo com dados do MapBiomas (2022).

O Bioma Mata Atlântica está inserido em sete das nove maiores bacias hidrográficas do país (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021). O adensamento urbano, a expansão das fronteiras agrícolas, monoculturas intensivas, exploração predatória dos recursos naturais, práticas insustentáveis de antigos métodos agropecuários estão entre os principais fatores de degradação do bioma. A Mata Atlântica, e seus ecossistemas associados, está sob contínua e forte pressão frente ao desmatamento e conversão de áreas nativas. No Brasil, atualmente restam apenas 12% da formação florestal

original, onde vivem aproximadamente 72% da população brasileira, e ainda assim o bioma é responsável pela metade da produção de alimentos consumidos no país (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021; 2022).

A Mata Atlântica é um *Hotspot* de biodiversidade mundial com mais de 8 mil espécies endêmicas (Brasil, 2006) é ao mesmo tempo um domínio altamente fragmentado, com a maior lista de espécies ameaçadas de fauna e flora. Aproximadamente 50 a 60 % da vegetação nativa está a menos de 90 metros das bordas, incidindo no alto grau de isolamento, num mosaico composto por uma esmagadora maioria de pequenos fragmentos de florestas secundárias com área inferior a 50 ha (Ribeiro *et al.*, 2009; Vancine *et al.* 2024). Segundo Vancine *et al.* (2024), nos últimos dezenove anos fragmentos pequenos (1 ha) aumentaram 1 Mha em áreas florestais. Fragmentos pequenos e isolados sofrem os impactos do efeito de borda, e, ao longo do tempo, não conseguem manter sua estrutura e nem a biodiversidade. Estabelece-se, com isso, um efeito cascata que sobrecarrega a capacidade de regeneração dos remanescentes, impactando no potencial das florestas em prover serviços ambientais essenciais para a sobrevivência e bem-estar coletivo, sejam elas humanas, de fauna ou flora.

O Bioma Mata Atlântica tem menos de 10% de áreas destinadas a Unidades de Conservação (UC), que não tem capacidade de abrangência suficiente para reparar e manter comunidades biológicas a salvo, e nem garantir a conservação dos recursos naturais, primeiro pela descrição do cenário anterior, segundo pela vasta extensão territorial do país (WWF, 2019) e terceiro pelo comprometimento da diversidade biológica por conta da baixa ou quase nenhuma conectividade entre elas (Ribeiro *et al.* 2022). Para Garcia e Francisco (2023), a fragmentação na Mata Atlântica é um processo que altera os processos ecológicos do ecossistema implicando diretamente nos aspectos estruturais da paisagem como aqueles ligados a forma, traduzidos, por exemplo, pelo índice médio de forma ou dimensão fractal médias entre outros, os quais podem indicar vulnerabilidade ambiental.

Chase *et al.* (2020) reforçam que a deterioração do ecossistema agrava a perda biodiversidade com a perda de habitat. A conservação da diversidade biológica é crucial para manutenção das sociedades humanas. Ecossistemas naturais sustentam serviços essenciais para a vida como a regulação do clima, a purificação do ar e da água, a polinização de culturas agrícolas, entre outros tantos que garantem a segurança energética, hídrica e alimentar. Entretanto, a erosão contínua, sem precedentes, da biodiversidade, o aumento da instabilidade ecológica e da degradação dos habitats sinalizam um real e iminente risco global de colapso dos sistemas naturais (Freire *et al.*, 2021).

Neste sentido, não há mais como tratar de forma antagonista os aspectos que permeiam a conservação e o desenvolvimento regional. Portanto, agir localmente ganha amplitude, suscitando uma preocupação ambiental pautada na emergente perspectiva do desenvolvimento regional que seja capaz de atender para além da dimensão econômica, sociocultural e institucional, uma melhor compreensão dos processos com enfoque na conservação da biodiversidade e de seus *habitats* nativos.

A fragmentação exerce forte influência na perda de *habitat*, perturbando de tal maneira o ambiente que o torna inapropriado para determinadas espécies. Deste modo, fragmentos de vegetação são *habitats* naturais gradualmente reduzidos por processos de ações antrópicas ou naturalmente, sendo o primeiro o grande modificador da superfície terrestre. A fragmentação muda a configuração dos *habitats*, implicando em quatro efeitos diretos: a redução da quantidade *habitat*, o aumento do número de manchas de *habitat*, a diminuição no tamanho de área e o aumento do isolamento de manchas (Fahrig, 2003).

A dinâmica da influência antrópica na paisagem fica evidente pelas mudanças no uso e cobertura da terra, na gestão (ou não) do espaço, tendo estes efeitos diretos na composição e no padrão de suas estruturas, alterando a biodiversidade, as funções e serviços ecossistêmicos e reduzindo a resiliência ambiental (Guiomar *et al.*, 2021). Desde forma, a cobertura florestal tem ligação com os processos funcionais do sistema hidrológico de uma bacia hidrográfica assegurando simultaneamente os processos ecológicos, os ciclos biogeoquímicos e fluxos de energia da paisagem dada sua natureza complexa e dinâmica ecológica. Em síntese, ecossistemas hídricos têm a capacidade de garantir a sustentabilidade de funções básicas que proporcionam os principais serviços ecológicos (Fernandes, 2021).

As consequências ecológicas ou suas estimativas estão ligadas com a configuração espacial (arranjos espaciais) dos planos ambientais, assim, as métricas descritoras são úteis para diagnosticar, indicar, entender ou monitorar as diferentes associações (Botequilha-Leitão; Ribeiro, 2021). De acordo com Couto (2004), as métricas da paisagem são algoritmos que quantificam características espaciais de fragmentos isoladamente ou de todo o mosaico da paisagem. Basicamente trata-se de métricas estruturais e/ou funcionais. O presente artigo se propõe a análise das métricas estruturais, as que medem a composição física, não possuindo referência explícita de um processo ecológico, muito embora, possa ficar subentendido sua relevância funcional (Botequilha-Leitão; Ribeiro, 2021).

Estas estruturas são definidas como um mosaico heterogêneo que tem um padrão e ordenamento, sendo passíveis de avaliação analítica a partir de metodologias e ferramentais desenvolvidos e alavancados em ambiente computacional e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), denominados índices ou métricas da paisagem (Lang; Blaschke, 2009). Portanto, trata-se de descrever e quantificar os padrões expressos por dada paisagem.

Infere-se que um dos componentes básicos da composição física da paisagem é expresso pelas características espaciais associadas a geometria do fragmento, como tamanho, forma e borda, distribuição espacial, relações de vizinhança, quantidade índice de agregação etc. Fahrig (2003) aponta a fragmentação como um processo de desintegração do *habitat* numa escala justamente paisagística, em que as análises da estrutura da paisagem podem ser avaliadas em três níveis, a saber: fragmento ou mancha, classe e nível da paisagem (Faring, 2003; Lang; Blaschke, 2009; Botequilha-Leitão; Ribeiro, 2021), caracterizadas a seguir:

1. Mancha - *Patch-level metrics* - em que as métricas descrevem características geométricas de manchas individuais, ou seja, é possível gerar a área e bordas (perímetro) do fragmento. As principais métricas estão relacionadas ao nível de manchas (patches) são as de áreas, formas, bordas e área-núcleo;
2. Classe - *Class-level metrics* - que resumem todas as manchas de uma determinada classe, sendo possível gerar a área de todos os fragmentos; o número por classe, tamanho médio e a densidade dos fragmentos, assim como densidade e total de bordas dos fragmentos entre outros, esta categoria analisa explicitamente a configuração deste grupo de manchas. As principais métricas estão relacionadas ao nível de classe (*Class-level*) são aquelas como a relação de vizinhança e proximidade, em linhas gerais índices baseados em distância;
3. Paisagem - *Landscape-level metrics* - que tem capacidade de discriminar métricas específicas da paisagem ou agregadas a ela (Lang; Blaschke, 2009). As principais métricas estão relacionadas ao nível de paisagem (*Landscape-level metrics*) são: grau de contágio, grau de retalhamento e medidas de diversidade (riqueza, diversidade, dominância e uniformidade).

Neste contexto, mapas categóricos são pontos centrais nas análises de padrões da paisagem preconizados pela Ecologia da Paisagem (Botequilha-Leitão; Ribeiro, 2021). Os autores *op.cit.* destacam que o avanço tecnológico de diversos pacotes de *softwares* permite trabalhar com cálculo de várias métricas de estrutura da paisagem, somado ao desenvolvimento de outras ferramentas em ambiente computacional como num SIG. Este tem papel fundamental e imprescindível no planejamento de paisagens e meio ambiente, pois agrega grande quantidade de métodos e aplicações que advém da capacidade de integração de dados vetoriais e matriciais e, assim, representá-los e apresentá-los por meio de vários produtos cartográficos a exemplo dos mapas (Lang; Blaschke, 2009).

O cálculo de métricas da paisagem e a mitigação da invisibilidade cartográfica, principalmente na escala local, são possíveis por conta do Sensoriamento Remoto, em particular através dos satélites, visto que há várias plataformas de aquisição de dados geoespaciais. A capacidade de geração de dados de maneira sistemática, regular e periódica retratando os objetos ou fenômenos da superfície da terrestre, ganham destaque pelo potencial de alcance aplicado dos sistemas imageadores embarcados nos atuais satélites.

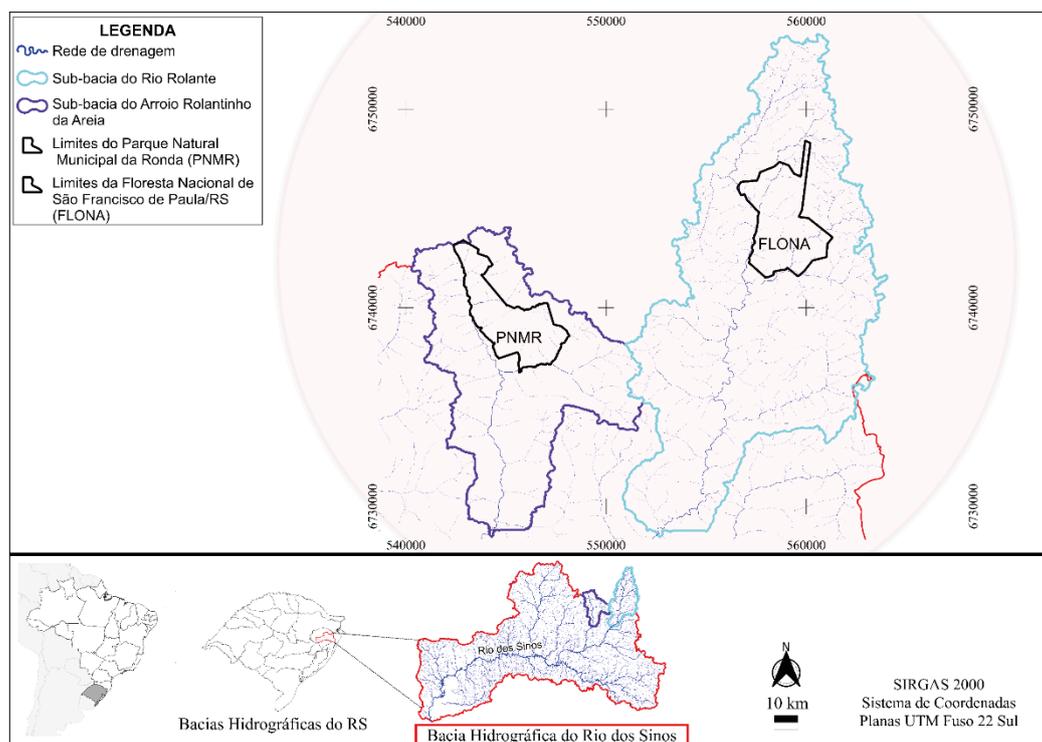
Portanto, análises ambientais dos diversos ecossistemas terrestres tem nas imagens orbitais, uma eficiente ferramenta capaz de produzir uma gama imensa de estudos e levantamentos dos recursos naturais (Meneses *et al.*, 2012). Luz e Ummus (2020), consideram que as análises espaciais têm na cartografia e geoprocessamento, capacidade de produzir informações essenciais para a gestão e planejamento regional. Para Lang e Blaschke (2009) o planejamento da paisagem é um instrumento de planejamento territorial.

A fragmentação da paisagem na encosta do Planalto Meridional, no sul do país, é um processo recorrente e persistente, constitui-se de um mosaico de florestas primárias e matas secundárias em tempos distintos de regeneração de grande potencial natural e biodiverso, com destaque para matas de araucárias – *Araucaria angustifolia* - e sua estreita relação com os ecossistemas associados de Campos de Altitude e áreas úmidas. Neste contexto se desenvolveu a pergunta instigadora desta pesquisa: Como mensurar a fragmentação estrutural dos remanescentes florestais de Mata Atlântica que compõe o mosaico da encosta do Planalto Meridional, no sul do Brasil numa perspectiva da conectividade entre duas unidades de conservação? A partir desta questão o objetivo principal do estudo foi analisar a estrutura da paisagem no domínio Mata Atlântica em duas cabeceiras de contribuição da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, com o propósito de avaliar a atual fragmentação estrutural florestal. Para alcance da meta, calculou-se o grau de fragmentação estrutural do *habitat* florestal de duas sub-bacias utilizando métricas da paisagem referente as manchas florestais remanescentes de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual.

METODOLOGIA

Localização e caracterização da área de estudo

A Sub-Bacia do Arroio Rolantinho da Areia (SBRA) e Sub-bacia Rio Rolante (SBRR) são duas relevantes cabeceiras de contribuição da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul (Figura 1). Correspondem ao trecho conhecido como Alto Sinos. Ambas as sub-bacias tem uma área estimada em 273,48 Km², que representam 7,40% da área total da bacia.



Fonte: elaborado pelas autoras.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

O termo sub-bacia hidrográfica é adotado levando-se em consideração que tal recorte representa um fragmento multidimensional do sistema fluvial, possuindo padrões de drenagem endorreica, sendo ela tributária de uma bacia hidrográfica mais complexa (Gomes *et al.*, 2021). Ademais, o termo sub-bacia também é utilizado na segmentação da divisão em unidades de planejamento descritos do Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul, 2020).

Pertencente ao Bioma Mata Atlântica, este ecossistema fluvial, tem inserido integralmente, em sua área de abrangência, duas unidades de conservação (UCs) da região: o Parque Natural Municipal da Ronda (PNMR) e a Floresta Nacional (FLONA), ambas no território do município de São Francisco de Paula. A área de estudo tem uma variação de altitude entre 167 metros a 989 metros, estando situada na borda do Planalto Meridional do estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. Caracteriza-se por um relevo suave ondulado a fortemente ondulado e montanhoso, desenvolvido sob o Cambissolo Húmico Alumínico (CHa7) de textura argilosa e o Neossolo Litólico Chernossólico (RLm4 e RLm7) de textura média cascalhenta (Subordens do SiBCS, BDIA, [s.d.]). Possui vales bem encaixados, logo abaixo da borda do planalto, que recebem as águas das vertentes mais altas abastecidas pelo amplo regime de chuvas na região, muito influenciado pelas massas de ar polares e tropicais que entram no estado diretamente influenciando o tipo de clima da região, classificado como Cfb (Köppen) temperado subtropical (Rio Grande do Sul, 2012).

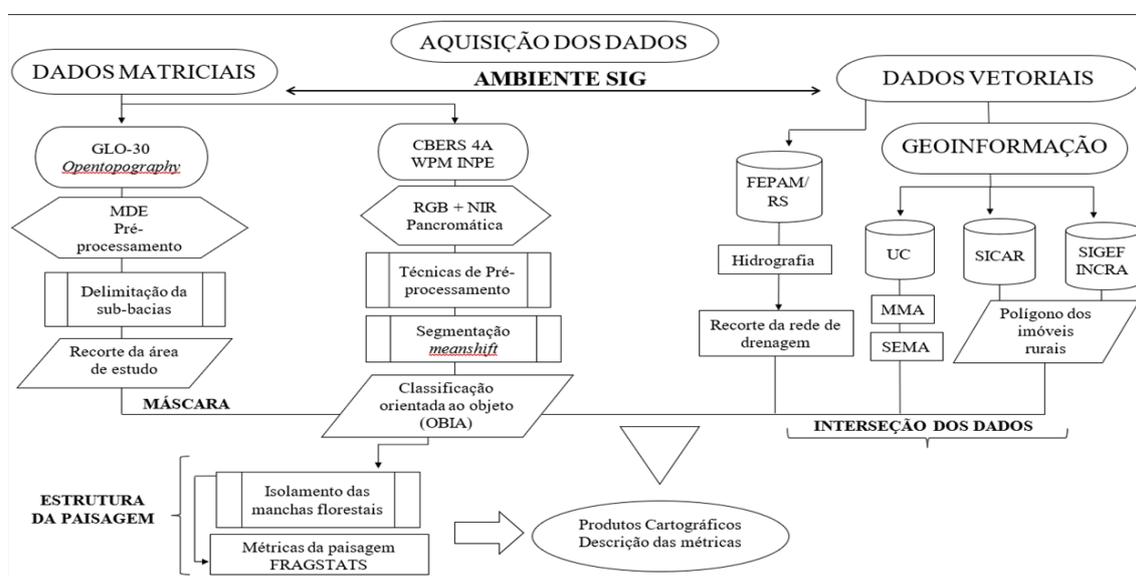
As características fisiográficas desta região dão suporte a vegetação de Campos de Altitude (Estepe Lenhosa), Floresta Ombrófila Mista (entremeada por Mata de Araucárias), Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012). Tal paisagem configura-se por uma excepcional beleza cênica altamente biodiversa.

O PNMR é uma UC de proteção integral, isto é, de uso indireto dos recursos naturais, com uma área de 1.4482,20 ha de exemplares de Campos de Altitude e Floresta Ombrófila Mista. As principais ameaças ao parque são: fragmentação da paisagem do entorno da UC; os aspectos fundiários (incluindo invasões e ocupações irregulares); expansão urbana nos limites do parque; áreas internas com presença de exóticas invasoras (monoculturas de *Pinus elliottii* e eucaliptos *Eucalyptus sp.*); e descarte de resíduos sólidos, apresentando uma área já degradada pela existência de um 'lixão' (Rio Grande do Sul, [s.d.]). Existem cerca de 34 espécies de interesse conservacionista consideradas raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção, como o Papagaio-charão (*Amazona pretrei*), único psitacídeo migrador do Brasil, o gato-do-mato-pequeno (*Leopardus gutulus*), o bugio-ruivo (*Alouatta guariba clamitans*) entre outros. A classificação do estado de preservação destes consta como vulnerável (VU) na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais IUCN (Rio Grande do Sul, 2012). A FLONA de São Francisco de Paula é uma UC de uso sustentável que ocupa uma área de 1.615,6 ha. Faz parte da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, considerada pelo Ministério do Meio Ambiente uma região de alta a altíssima prioridade para a conservação da biodiversidade. Está inserida no Corredor Ecológico do rio dos Sinos e entre os Corredores

Ecológicos dos rios Cai e Tainhas. Com exemplares de Floresta Ombrófila Mista, Campos de Altitude e Áreas de Banhados, abriga grande riqueza da avifauna com mais de 210 espécies, entre residentes ou migratórias, entre os quais destaca-se o Papagaio-charão (*Amazona pretrei*), cujo estado de preservação é vulnerável (VU) e a Águia-cinzenta (*Urubitinga coronata*) classificada em perigo (EM) (IUCN). Também há a registro da ocorrência da espécie endêmica *Melanophryniscus cambaraensis* conhecida pelo nome popular de Sapinho-da-barriga-vermelha, além da presença de mamíferos ameaçados de extinção, como o leão-baio (*Puma concolor*) e o bugio-ruivo (*Alouatta guariba clamitans*) e recentemente também tem sido avistado o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) (Brasil, 2020) importantes representantes de grupos chave e animais de topo de cadeia.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa teve foco na coleta, tratamento e organização dos três grandes grupos de dados necessários ao desenvolvimento deste projeto, sendo eles: dados matriciais, dados vetoriais e banco de dados públicos (geoinformação), descritos na Figura 2.



Fonte: elaborado pelas autoras.

Figura 2. Fluxograma com as principais etapas metodológicas das atividades desenvolvidas.

As técnicas de processamento digital de imagens por Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento foram aplicadas a partir de um Sistema de Informação Geográfica – SIG. Todos os geodados foram processados no *software* livre, gratuito e de código aberto QGIS (SIG), versão LTR 3.16.5-Hannover. A elaboração cartográfica foi produzida em SIRGAS 2000, Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) Fuso 22 Sul, código EPSG 31982. Empregou-se a base cartográfica vetorial oficial do Rio Grande do Sul disponibilizada pela FEPAM, cuja escala é de 1:25.000, oferecendo-se uma escala maior, atual e de compatibilidade com as imagens do satélite CBERS 4 A, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial -INPE. Obteve-se uma máscara a partir da delimitação das sub-bacias de contribuição, por meio do processamento dos dados do modelo digital de elevação (MDE) GLO-30 disponibilizado pelo programa *Copernicus Dem*, da agência espacial europeia.

A geoinformação dos bancos de dados públicos foi utilizada para a extração de dados de hidrografia, poligonais das UCs e localização dos imóveis rurais que interseccionam as mesmas para verificação dos aspectos fundiários e sobreposição de geometrias (Quadro 1).

Quadro 1. Endereço de Website ou webservice para aquisição dos dados utilizados.

| Fontes do dado | Tipo de dado | Website ou Webservice |
|---|--|---|
| Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM/RS | Vetorial – Hidrografia | http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/ |
| GLO-30 desenvolvido pelo programa europeu <i>Copernicus Dem</i> | Matricial – Modelo digital de elevação (MDE) | https://portal.opentopography.org/dataset ou https://plugins.qgis.org/plugins/OpenTopography-DEM-Downloader/ |
| Instituto Nacional Pesquisa Espacial – INPE – Divisão de Geração de Imagens | Matricial – Imagem CBRS 4ª WPM | https://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore ou https://plugins.qgis.org/plugins/ebers4a/ |
| Ministerio do Meio Ambiente – ICMBIO | Vetorial – UC federal | https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federal |
| Secretaria do Ambiente e Infraestrutura – SEMA/RS | Vetorial – UC federal | https://sema.rs.gov.br/limites-da-unidades-de-conservacao |
| Sistema de Informação do Cadastro Ambiental Rural (SICAR) | Vetorial – UC federal | https://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads |
| O Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF | Vetorial – UC federal | https://certificado.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py |

Fonte: elaborado pelas autoras.

Mapeamento do uso e cobertura da terra e isolamento das manchas florestais

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi feito utilizando imagem do satélite CBERS 4A, instrumento imageador WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), órbita ponto 206/150, nível L4 pré-processamento, datada de 04.07.2023, correspondendo ao início do inverno na região sul do Brasil. Possui bandas na faixa do espectro visível (RGB) e um no infravermelho próximo (NIR), todas com oito metros de resolução espacial e uma banda pancromática de dois metros de resolução espacial. Foi gerada uma imagem a partir do índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que foi integrada aos dados multiespectrais. As imagens passaram pelo processo de fusão e integração dos dados da multiespectral com a pancromática: utilizando o módulo *Orfeo ToolBox* (OTB) >> *Geometry* >> *Superimpose* >> *Pansharpening*. A etapa seguinte consistiu em submeter a composição colorida falsa cor R (vermelho) G (NIR) e B (azul) a classificação orientada ao objeto (OBIA). A classificação temática utilizou a seguinte legenda: Manchas Florestais, Campos de Altitude, Áreas Úmidas, Corpos Hídricos, Agropecuária, Antrópico e Silvicultura.

A partir da imagem classificada, os dados foram interseccionados com aqueles oriundos dos bancos de dados públicos como SICAR e SIGEF (contexto da situação fundiária da qual depende a matriz da paisagem) e os dados de hidrografia (FEPAM). O mapa contendo somente a classe de Manchas Florestais foi feito a partir do isolamento desta, sendo assim, foi submetido as rotinas do *software FRAGSTATS 4.2*[®] (Mcgarigal *et al.*, 2012).

Avaliação da estrutura da paisagem

As métricas da paisagem foram obtidas a partir da importação dos arquivos contendo as classes temáticas e Manchas Florestais isoladas para o *software* de domínio público e igualmente gratuito, *FRAGSTATS 4.2*[®] (Mcgarigal *et al.*, 2012). Os relatórios gerados foram exportados, manipulados e analisados utilizando planilha eletrônica, e os dados finais organizados em tabelas e gráficos.

A avaliação da estrutura da paisagem da área de estudo segue as proposições de Mcgarigal e Marks (1995), Lang e Blaschke (2009) e as considerações de Botequilha-Leitão e Ribeiro (2021), para uma abordagem focada na componente natural da paisagem expressando assim as métricas estruturais. A partir do processamento digital da imagem e do tratamento dos modelos vetoriais pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.16 foram elaborados dois produtos cartográficos: a) Mapa de Uso e Cobertura da Terra com a Porcentagem Ocupada pela Classe (PLAND %) das Duas Sub-Bacias; b) Mapa Distribuição das Classes de Tamanho das Manchas Florestais nas Sub-Bacias com Métricas NP (número de fragmentos), NP % (% número de fragmentos) e CA (área ocupada pela classe em hectares).

A fragmentação da paisagem imprime um número infinito de valores, justificando a interpretação conjunta de várias métricas. O Quadro 2 detalha as métricas calculadas, consideradas apropriadas na abordagem do planejamento ambiental e gestão territorial regional.

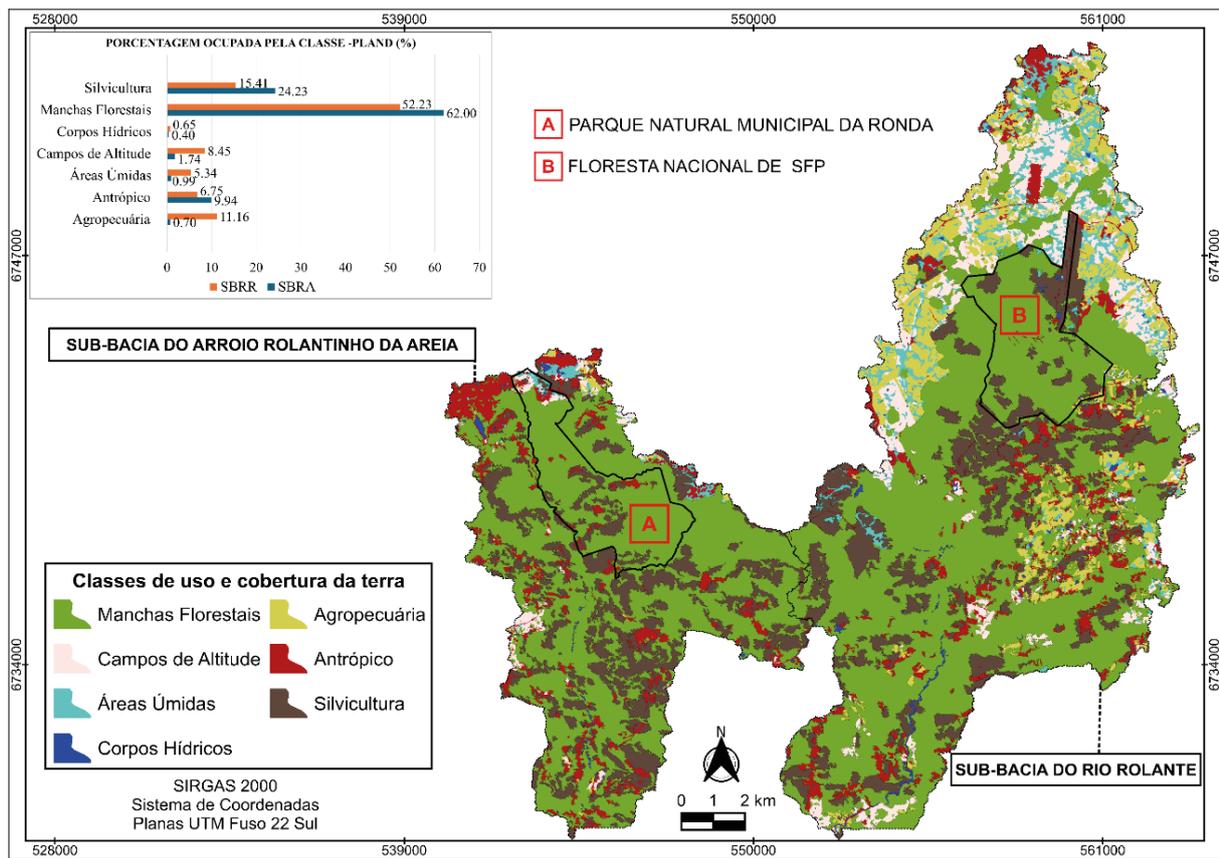
Quadro 2. Descrição das métricas utilizadas na análise da estrutura da paisagem da SBRA e SBRR.

| Grupo | Sigla | Métrica | Unidade | Descrição/Informação |
|-----------|----------|--|------------------------|---|
| Patch | NP | Número de fragmentos | Adimensional NP ≥ 1 | Indicador de fragmentação/retalhamento. Valores mais altos indicam maior fragmentação |
| Classes | CA | Área total ocupada por cada classe | Há | Indica a heterogeneidade e dimensões das manchas o que tem relação com a dependência desta composição para algumas espécies de fauna e flora |
| | TE | Total de bordas – soma de bordas | (Km) | Análise efeito de borda (habitas de interior vs. Borda). Referente a extremidade de todas as manchas, soma do perímetro de todas elas. |
| | ED | Densidade de borda | m/há | Quantidade de extremidade relativa as áreas da paisagem |
| | PLAND | Porcentagem ocupada pela classe na paisagem total | % | Importância relativa das funções da paisagem/distúrbios |
| | LPI | Porcentagem ocupada pelo maior fragmento | % | Manchas maiores podem servir como áreas-fonte de espécies |
| | CPLAND | Porcentagem da área núcleo na paisagem | % | |
| | SHAPE_MN | Índice de forma média das manchas da classe de interesse | [1-∞ | Caracterização de cada elemento da paisagem, fornece informações que tem relação com o movimento de espécie ou perturbações, análise do efeito de borda/forma. 1 significa forma circular; valores elevados podem ser vantajosos se forem formas irregulares. |
| | FRAC_MN | Dimensão fractal média | [1<2] | Complexidade ou irregularidade da mancha. Perímetros mais simples próximos de 1, mais complexo chega a 2. |
| Landscape | ENN_MN | Distância euclidiana média do fragmento vizinho mais próximo | M | Proximidade/qual a distância da próxima mancha vizinha de mesma classe? |
| | COHESION | Grau de coerência | % | Qual o grau de coerência/conectividade entre manchas |

Fonte: Compilado de Lang; Blaschke (2009), Metzger (2012) e Botequilha-Leitão (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas bacias de contribuição apresentam um mosaico heterogêneo em que a cartografia temática revela a pressão exercida pelas atividades antrópicas, evidenciando esta condição em direção ao limite das poligonais das UCs. Deste modo, a avaliação do comportamento da fragmentação, apresentado na Figura 3, demonstra a forma anisotrópica e o peso distinto que os vetores exercem sobre os remanescentes, com a porcentagem ocupada por cada classe de uso e cobertura da terra (PLAND %) na SBRA e na SBRR.



Fonte: elaborado pelas autoras.

Figura 3. Mapa de uso e cobertura da terra com a porcentagem ocupada pela classe (PLAND %).

Trata-se de uma matriz de plano de fundo ocupando mais de 50% (PLAND) da área total de ambas as sub-bacias com superfície dominante da classe de Manchas Florestais, num processo de fragmentação em que outros elementos menores são distinguíveis como por exemplo os ecótonos de transição entre os Campos de Altitude, Áreas Úmidas ou mesmo aquelas de usos da terra. Os usos predominantes são Silvicultura com 24,23% (SBRA) e 15,41% (SBRR), seguido pela Agropecuária 0,70% (SBRA) e 11,16% (SBRR) e a classe Antrópico com 9,94% (SBRA) e 6,75% (SBRR).

A expansão urbana, imobiliária e industrial soma-se ao incremento da Silvicultura comercial na SBRA, que juntamente com a pressão das atividades agrossilvipastoris da SBRR influenciam a quantidade e distribuição dos remanescentes florestais inseridos nestas importantes cabeceiras. São um total de 4.694 fragmentos (NP) distribuídos em uma área de 27.346,85 ha (CA). As métricas da classe de Machas Florestais retornaram 870 fragmentos em mais de 15 mil hectares de área contrapondo 743 fragmentos de Silvicultura em um pouco mais de 5 mil hectares de plantio para uso comercial (Tabela 1).

Tabela 1. NP (número de fragmentos) por CA (área ocupada por cada classe em hectares) de uso e cobertura da terra da área total ocupada na paisagem das SBRA e SBRR.

| CLASSES | CA(ha) | NP | CA(ha) | NP |
|--------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
| Agropecuária | 63,73 | 52 | 2.033,76 | 478 |
| Antrópico | 906,89 | 365 | 1.230,46 | 711 |
| Áreas úmidas | 90,71 | 84 | 972,05 | 613 |
| Campos de altitude | 159,14 | 65 | 1.539,15 | 402 |
| Corpos hídricos | 36,40 | 64 | 119,05 | 247 |
| Manchas florestais | 5.659,35 | 310 | 9.516,71 | 560 |
| Silvicultura | 2.211,39 | 411 | 2.808,05 | 332 |
| Total | 9.127 | 1.351 | 18.219,24 | 3.343 |

Fonte: elaborado pelas autoras.

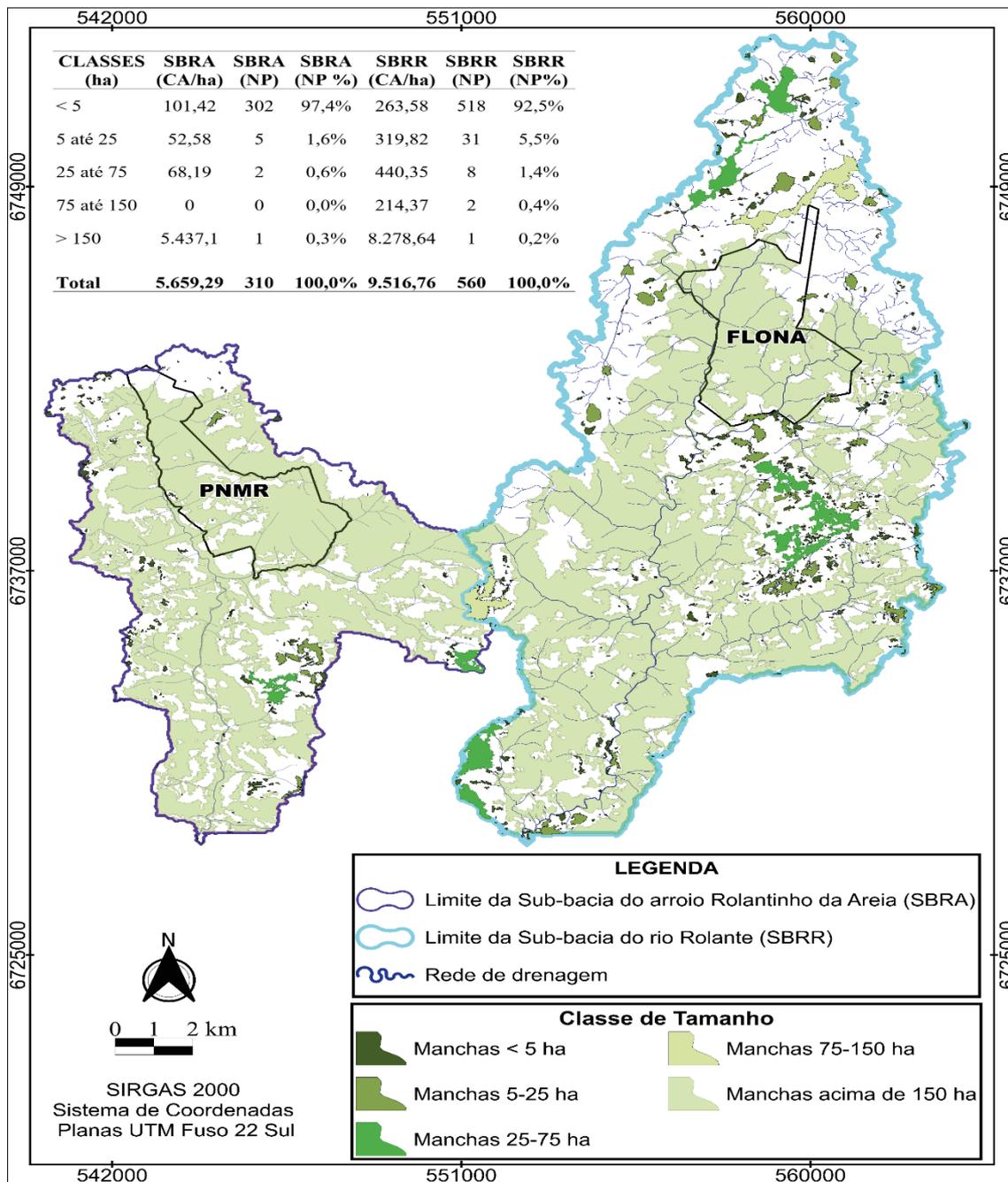
Infere-se pela cartografia a existência de pontos de contato entre Manchas Florestais e Silvicultura. Scussel (2018) conclui que esta associação entre remanescentes e plantios como silvicultura podem ser positivos sob o viés da conectividade e movimentação da fauna silvestre. Todavia, cabe pontuar que podem ser áreas empobrecidas do ponto da diversidade biológica. Mas em casos em que as métricas retornam uma grande quantidade de fragmentos (NP) e conseqüentemente grande extensão de bordas (TE), entre outros, a exemplo da paisagem estudada, implicam uma observação mais criteriosa sob este fato, e devem ser consideradas na modelagem do planejamento da paisagem.

Este aspecto merece atenção, pois o PNMR e a FLONA de São Francisco de Paula possuem plantios de silvicultura tanto no seu entorno quando dentro dos seus limites. Isso se deve ao fato de a primeira possuir apenas 12% do total da área do parque instituída, o restante encontra-se em processo de regularização fundiária. Neste contexto, muitas propriedades rurais inseridas nos limites da poligonal da UC têm renda atrelada ao uso da silvicultura comercial, entre outros. A segunda necessita de ajustes no georreferenciamento dos limites ao sul da UC, o que gera sobreposição com outros imóveis rurais da região. Outro ponto é que a FLONA de São Francisco de Paula, uma UC de uso sustentável, só passou a condição de Floresta Nacional em 1968, até então era administrada pelo Instituto Nacional do Pinho (INP), que tinha por objetivo o comércio madeireiro. Assim, são aproximadamente 229 ha de plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii*, 34 ha com *Eucalyptus sp.* e, 390 ha de reflorestamento de *Araucaria angustifolia*, todos sujeitos a supressão (Brasil, 2020).

A classificação temática considerou os replantios de *Araucaria angustifolia* como Manchas Florestais uma vez que frente as mudanças climáticas, estes maciços florestais têm muito mais importância em pé, o que justifica mantê-los na classe de Manchas Florestais e não como Silvicultura. Esta espécie nativa, consta na categoria de Perigo (EN) da Lista Vermelha da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN). O recurso-chave pinhão alimenta muitas espécies de fauna silvestre, algumas endêmicas do Planalto Meridional Sul-rio-grandense. Ademais, é patrimônio cultural da região, que fomenta o desenvolvimento regional com a Festa do Pinhão no município de São Francisco de Paula/RS, onde vários pratos são produzidos a partir dele (São Francisco de Paula, 2023).

A caracterização e configuração de *habitat* ao nível da classe Manchas Florestais das sub-bacias reflete o histórico de ocupação na Mata Atlântica: uma paisagem de florestas secundárias altamente fragmentadas, em que 97% dos fragmentos de vegetação são pequenos (<50 ha), com tamanho médio de fragmento entre 16,3 e 25,5 ha, sendo fortemente afetados pelo efeito de borda e o isolamento dos fragmentos (250–830 m) (Vancine *et al.* 2024).

Ambas as bacias de contribuição têm uma grande quantidade de fragmentos muito pequenos, inferiores a 5 ha (CA), que juntos somam mais de 800 fragmentos (NP), representando mais de 90% desta paisagem, conforme Figura 4. Ao mesmo tempo que a fragmentação causa mudança na configuração dos *habitats* também gera uma espécie de padrão recorrente de subdivisão, já observado por Scussel (2018), Garcia e Francisco (2023) e Longo *et al.* (2024): a geração de uma grande quantidade de fragmentos muito pequenos (< 5ha) e pequenos (até 25 ha) em oposição a diminuição de quantidade de fragmentos maiores (> 150 ha) estes últimos relevantes como área-fonte ou fragmento matriz.



Fonte: elaborado pelas autoras.

Figura 4. Distribuição das classes de tamanho das Manchas Florestais na SBRA e SBRR com métricas NP (número de fragmentos), NP % (% número de fragmentos) e CA (área ocupada por cada classe em hectares).

As métricas referentes ao tamanho das manchas têm grande valor ecológico associado, pois existe uma relação intrínseca entre tamanho da área e a riqueza de espécies. Exercem controle tanto sobre aspectos-chave dos ecossistemas quanto sobre suas comunidades, aquelas que coevoluíram nestes *habitats* (Botequilha-Leitão; Ribeiro, 2021).

Há dois grandes fragmentos centrais em cada sub-bacia, com área acima 150 hectares, representando 96,07% de área ocupada na SBRA (LPI) e 86,99% na SBRR (LPI) respectivamente (Tabela 2), mergulhadas em um mosaico com uma grande quantidade de fragmentos de área inferior a 50 ha. As UCs estão inseridas nestes dois grandes fragmentos centrais (>150 ha): o PNMR está SBRA e a FLONA de SFP está na SBRR (Figura 4).

Desta forma há uma grande extensão de bordas (TE): 1.316,10 km (SBRA) e 2.021,6 km (SBRR); com densidade de borda (ED) 144,20 m/ha (SBRA) e 110,9 (SBRR). A extensão total de bordas, geralmente, é equiparada com a riqueza de estrutura, contudo, também pode ser um forte indicativo de retalhamento da paisagem (Lang; Blaschke, 2009). Observa-se que a densidade é inversamente proporcional a extensão de bordas, sendo este um indicativo de maior grau de conservação uma vez que, em tese, poderia sofrer menos com o efeito de borda (Juvanhol *et al.* 2011).

Tabela 2. Métricas calculadas para as classes de tamanho das manchas florestais relativas à forma e coesão dos remanescentes da SBRA e SBRR.

| Classes (ha) | (LPI) % | (SHAPE_MN) Adimensional ≥ 1 | (FRAC_MN) Adimensional [1>2] | (CHOESION) (0<CHOESION>100%) |
|--------------|---------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| SBRA | | | | |
| <5 | 0,08 | 2,04 | 1,18 | 97,8 |
| 5-25 | 0,34 | 4,85 | 1,27 | 99,4 |
| 25-75 | 0,68 | 7,78 | 1,31 | 99,6 |
| 75-150 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >150 | 96,07 | 38,82 | 1,41 | 99,9 |
| SBRR | | | | |
| <5 | 0,05 | 2,35 | 1,21 | 97,9 |
| 5-25 | 0,24 | 4,10 | 1,23 | 99,4 |
| 25-75 | 0,79 | 6,30 | 1,27 | 99,7 |
| 75-150 | 1,46 | 6,07 | 1,26 | 99,8 |
| >150 | 86,99 | 37,70 | 1,40 | 99,9 |

Fonte: elaborado pelas autoras.

A representação cartográfica indica a dinâmica dos fragmentos menores (Figura 4), que, embora sejam quase que exclusivamente compostos de bordas, são capazes de estabelecer conexão entre si e com os de grande porte, fazendo parte de uma complexa rede de interligações, promovendo áreas de transição entre as unidades da paisagem como verdadeiros trampolins ecológicos ou *stepping stones* (Forman; Godron, 1986).

Cabe ressaltar que dos 142 km de rede de drenagem da SBRA, 112 km tem conexão direta com os 310 fragmentos (NP), ou seja, 78,28% dos cursos d'água da bacia tem interconexão com essas manchas em algum ponto da área ocupada pela classe dos 5.659,35 ha (CA). A SBRR possui aproximadamente 403 km de rede de drenagem, que se comunica com os 560 (NP) remanescentes florestais em 219 Km de cursos d'água, o que representa 54,51% do total da malha hidrográfica da sub-bacia inserida nos 9.516,71 ha (CA). Depreende-se a relevância dos pequenos (5-25 ha/CA) e médios fragmentos (25-75 ha/CA) para a proteção e manutenção do sistema hídrico ao mesmo tempo que são eles elementos de ligação entre grandes áreas, promovendo a maior heterogeneidade da matriz (Forman; Godron, 1986).

Segundo João Paulo Fernandes (2021), os ecossistemas hídricos tem importância ímpar com diferenciado valor ecológico pela capacidade de conectividade, ligando diferentes elementos e espaços, de caráter linear e abrangente com particular capacidade de potencializar a existência de manchas de recursos, assegurando fluxo gênico dentro de uma gama de outros serviços ecológicos com variadas funções e inter-relações ecológicas, além de ser responsável por todos os processos funcionais do sistema hidrológico dentro da bacia hidrográfica.

O índice médio de forma (SHAPE_MN) indica que os fragmentos muito pequenos (<5 ha) (SHAPE_MN = 2,04 [SBRA] e 2,35[SBRR]) e pequenos (5-25 ha) (SHAPE_MN = 4,85 [SBRA] e 4,10 [SBRR]) mantém regularidade quanto a forma na comparação com os médios (25-75ha) (SHAPE_MN = 7,78 [SBRA] e 6,30[SBRR]) e médio-grandes (75-150 ha) (SHAPE_MN = não há fragmento para esta classe de tamanho [SBRA] e 6,07 [SBRR]).

Os grandes fragmentos centrais (> 150 ha) apresentam SHAPE_MN = 38,82(SBRA) e 37,70 (SBRR), valores altos para índice de forma. Valores elevados podem ser vantajosos quando as formas são irregulares observado o fator de ambivalência conforme a categoria e qualidade das bordas (Lang; Blaschke, 2009). Entretanto, são fortes indicativos da vulnerabilidade destes fragmentos maiores (Garcia e Francisco, 2023) pois o índice extrapola SHAPE_MN 37, um valor bem acima das demais classes de ranqueamento que não ultrapassam SHAPE_MN 8 para aquelas de tamanho diretamente menores (75-150 ha). Então, estes estariam mais propensos ao efeito de borda, tal comportamento já havia sido registrado por Juvanhol *et al.* (2011), mesmo que o esperado é que o fato esteja atrelado a fragmentos menores.

A dimensão fractal média das manchas (FRAC_MN) não apresentou muita variação entre as classes mantendo-se dentro da escala que a literatura preconiza com valores $1 > 2$. Reportando os valores mais elevados para os dois grandes fragmentos (> 150 ha) com índices na casa de 1,40, reforçando o aspecto de quão complexa ou irregular são as formas destas manchas. A espacialização dos fragmentos em conjunto com a extração das métricas permite inferir que se trata de uma área altamente retalhada, com bordas sinuosas e com muitos trechos irregulares que levam a perda de área, como verdadeiras “falhas” comprometendo assim a percolação na matriz anteriormente conectada, estes aspectos foram observados também por Garcia e Francisco (2023). Tais “falhas” são percebidas no entorno e interior das UCs de forma bastante incisiva (Figura 4). Os valores dos menores fragmentos (<5 ha) denotam que estes são mais regulares e

com perímetro mais simples. Em comparação com a região sudeste verificamos semelhança no índice FRAC_MN para manchas inferiores a 5 ha na Bacia do Rio Ubá/RJ (1,07) analisados por Milton Fernandes e Márcia Fernandes (2017).

O índice de retalhamento (SPLIT), indica um percentual mais elevado para SBRR 4,8 m² do que os 2,8 m² da SBRA. Essa métrica caracteriza o retalhamento da paisagem aderindo à informação das métricas referentes aos índices de forma, descritos anteriormente, os quais potencializam o efeito de borda agregando alta vulnerabilidade dos fragmentos remanescentes em ambas as sub-bacias. Segundo Lang e Blaschke (2009) um índice voltado ao aspecto do retalhamento de um *habitat* constata que a área absoluta praticamente não diminui, mas afeta os aspectos ligados a funcionalidade, isto é, perturbações do *habitat*, num processo de subdivisão contínuo que não costuma regredir, ao contrário tende a aumentar, comprometendo *habitat* mínimo para o estabelecimento de populações viáveis.

A distância média do vizinho mais próximo ENN_MN entre fragmentos retornaram valores de 23,6 metros (SBRA) e 35,6 metros (SBRR). Assim, a cada 20 ou 30 metros há a possibilidade de saída ou entrada em outra mancha. Mcgarigal *et al.* (2012) afirma que quanto maior os valores da métrica ENN_MN, maior será o isolamento do fragmento (NP).

A paisagem das sub-bacias apresenta um bom indicador ENN_MN garantindo a conectividade entre os fragmentos mitigando a perda de *habitat*, quando comparados a outros estudos dentro do bioma. Rezende (2011) em um estudo de série temporal de 1985 até 2008 em Floresta Estacional Semidecidual encontrou uma distância de 86 metros (ENN_MN) entre os fragmentos de remanescentes florestais. Scussel (2018) apontou 45,4 metros (ENN_MN) de distância média do vizinho mais próximo, afirmando que distância aumenta para 76 metros numa simulação sem a presença dos pequenos fragmentos (6,45 ha) concluindo a importância destes para o estabelecimento das redes de conexão na paisagem nas microbacias do rio Carvão e do rio América, município de Urussanga/SC.

Considerando uma área de borda ou um “*buffer*” negativo (Lang; Blaschke, 2009), arbitrária, de 30 metros, as métricas do percentual de área núcleo na paisagem (CPLAND) retornaram 43,5% (SBRA) e 38,4% (SBRR), isto é, cerca de 40% da classe de Manchas Florestais é constituída de áreas núcleo. Assim em tese, aproximadamente de 60% da área seriam evitadas por espécies sensíveis a borda, considerando que a densidade de borda (ED) e na distância euclidiana média dos fragmentos (ENN_MN) apresentadas até aqui. Isto porque são métricas diretamente relacionadas com o alcance de *habitas* pela fauna silvestre, implicando na manutenção da diversidade biológica.

O grau de coesão dos fragmentos foi calculado pela métrica COHESION. Ambas as sub-bacias tem índices acima de 90%, um ótimo resultado. Este alto grau de agregação está fortemente atrelado ao alto percentual de fragmentos muito pequenos e pequenos e sua estratégia de distribuição na paisagem. Os achados de Santos e Machado (2021) também reforçam esta afirmação, concluindo que o alto grau de agregação das formações florestais e campestres das Chapadas do Parque Nacional da Serra da Canastra/MG se deve justamente a alta porcentagem de pequenos fragmentos e a sua distribuição espacial. Isto posto, é fator decisivo para o estabelecimento e manutenção de metapopulações, que deste modo, mantêm o fluxo gênico entre as manchas, evitando assim a erosão da biodiversidade e o isolamento dos fragmentos (Fernandes; Fernandes, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas sub-bacias de contribuição possuem uma abrangência de cobertura florestal que ultrapassa 50% de área ocupada pela classe de Manchas Florestais (PLAND). Apresentando uma paisagem altamente fragmentada, com grande quantidade de fragmentos muito pequenos (< 5 ha), pequenos (5-25 ha) e grande extensão de bordas. Entretanto, a porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe é superior a 85% correspondendo aos dois grandes fragmentos centrais (>150 ha) apresentados na produção cartográfica, onde se localizam, duas importantes unidades de conservação: o PNMR (SBRA) e a FLONA de SFP (SBRR). Desta configuração espacial tem-se um alto grau de coesão (*Cohesion*) do mosaico, visto o potencial de conexão dos fragmentos pequenos.

Há uma estreita relação entre o sistema hídrico superficial local com os remanescentes mapeados. A extração das métricas são evidenciadas pela sistematização dos elementos temáticos espacializados apresentando um cenário em que mais de 90% dos fragmentos muito pequenos (< 5 ha) encontram-se nas zonas periféricas da área de abrangência das sub-bacias, que juntamente com os pequenos e médios fragmentos (até 75 ha) que são indispensáveis ao estabelecimento de conexão com entorno dos grandes fragmentos (>150) onde se estão as UCs. É, portanto, premente ações de manejo e manutenção dos pequenos fragmentos, como estratégia de gestão para garantir um mosaico bem estruturado e funcional.

Por outro lado, os dois grandes fragmentos centrais apresentam vulnerabilidade visto o alto valor para SHAPE_MN combinado com FRAC_MN demonstrando a complexidade, a sinuosidade das formas, com muitos trechos irregulares, e áreas com subdivisões, isto é, “falhas”, ocupadas por outras classes de uso da terra de caráter antrópico. Infere-se este aspecto pelo índice de retalhamento (SPLIT) indicando elevados valores que potencializam fortemente o efeito de borda, comprometendo a funcionalidade ecossistêmica e a diversidade biológica. Estruturas físicas como corredores ecológicos podem ser uma alternativa viável para o estabelecimento da conectividade e

manutenção destes fragmentos fonte.

Uma das principais implicações desta pesquisa é situá-la no cenário das discussões sobre as aplicações da Ecologia da Paisagem de forma a contribuir para o planejamento e gestão da paisagem em esfera regional e local com foco na conservação da biodiversidade. Deste modo, os principais gargalos encontrados e que podem nortear o futuro das pesquisas são a escassez de estudos referentes as medidas de estrutura funcional, da qualidade ambiental dos fragmentos e bordas, do enfoque em grupos focais (espécies chave) ou grupos mais vulneráveis da região, sobre os pesos que os vetores de fragmentação exercem sobre os remanescentes para o estabelecimento de metodologias que indiquem potenciais de conectividade entre os fragmentos mapeados por este trabalho. Isso pode ser por meio de modelagem espacial com a integração de outros dados geoespaciais e outras variáveis para a detecção de *habitats* que possam ser integrados em sistema de informação geográfica.

REFERÊNCIAS

- BOTEQUILHA-LEITÃO, A.; RIBEIRO, S.C. Parte III. Métodos. Análise de Padrões. In: RIBEIRO, S.C. *et al.*, (org.). **Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-brasileiro**, v.1. Curitiba: Appris, 2021. p.223-263.
- BRASIL. **Lei n.º 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2006. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm>. Acesso em: 12 de mar. 2024.
- BRASIL. ICMBIO. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de São Francisco de Paula**. Floresta Nacional de São Francisco de Paula, 2020. Disponível em: <http://www.florestanacional.com.br/Plano%20de%20Manejo%20Flona%20Sao%20Francisco%20de%20PaulaRS_2020.pdf>. Acesso em: 07. marc. 2024.
- COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em Fragstats. **Investigação Operacional**, v.24. 2004. p. 109-137.
- CHASE, J.M., *et al.* Ecosystem decay exacerbates biodiversity loss with habitat loss. **Nature**. 584, 238–243. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2531-2>
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA [s.d]). **Banco de Informações Ambientais – BDiA** – Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>>. Acesso em: 17 mar.2024.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** v.34. p. 487–515. 2003. Doi: 10.1146/annurev.ecolsys.34011802.132419.
- FERNANDES, J.P. Processos Ecológicos e Paisagem. In: RIBEIRO, S.C. *et al.*, (org.). **Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-brasileiro**. v. 1. Curitiba: Appris, 2021. p.151-186.
- FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. de M. Análise Espacial da Fragmentação Florestal da Bacia do Rio Ubá - RJ. **Ciência Florestal**, v. 27. n. 4. 2017. p. 1429–1439. Doi:10.5902/1980509830330. Acesso em: 14 mar. 2024.
- FORMAN, R. T. T; GODRON, M.. **Landscape Ecology**. Cambridge. Cambridge University Press, 1986.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório Anual 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>>. Acesso em: 13 mar.2024.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório Anual 2022**. 2022. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>>. Acesso em: 13 mar.2024.
- FREIRE.M.C *et al.* Corredores Ecológicos. A Estrutura Ecológica Enquanto Instrumento de Sustentabilidade Ecológica. In: RIBEIRO, S.C. *et al.* (org.). **Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-brasileiro**. v. 2. Curitiba: Appris, 2021. p.137-165.
- GARCIA, M. L. T.; FRANCISCO, C. N. Métricas da Paisagem na Avaliação da Fragmentação Florestal: O Índice de Dimensão Fractal. In: XX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis. [Anais...] São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/metricas-da-paisagem-na-avaliacao-da-fragmentacao-florestal-o-indice-de-dimensao?lang=en>>. Acesso em: 08 mar. 2024.
- GOMES, R. C. *et al.*, Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **GEographia**, v. 23. n. 51. 2021.
- GUIOMAR, N. *et al.*, Dinâmicas e Evolução da Paisagem. In: RIBEIRO, S.C. *et al.*, (org.). **Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-brasileiro**. v. 1. Curitiba: Appris, 2021. p.113-149.
- JUVANHOL, R. S. *et al.*, Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, out./dez. 2011. p. 353-364.
- LONGO, R.M. *et al.* Evaluating the Environmental Quality of Forest Remnants Using Landscape Metrics.

