PAISAGEM E SENSIBILIDADE ECOLÓGICA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BACIA DO GUAÍBA/RS: UMA ANÁLISE DAS DINÂMICAS PRESENTES NAS BACIAS DO ALTO JACUÍ, BAIXO JACUÍ, PARDO E VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM

Martiele Wilhelm
Mestranda do PPGAUP da UFSM
Arquiteta e Urbanista – UFSM-CS
E-mail: wilhelm.martiele@acad.ufsm.br
Raquel Weiss
Arquiteta e Urbanista – UFSM
Docente em Arquitetura e Urbanismo – UFRGS e Docente do PPGAUP – UFSM
E-mail: raquel.weiss@ufsm.br

RESUMO
O presente estudo examina os impactos das dinâmicas naturais e antrópicas nas paisagens das bacias hidrográficas do Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Pardo e Vacacaí-Vacacaí Mirim, na Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. Essas áreas têm sofrido modificações expressivas em sua estrutura e função devido às intensas interações com atividades humanas ao longo do tempo. O objetivo principal foi analisar as transformações espaço-temporais das paisagens naturais e antrópicas, além de identificar áreas de sensibilidade ecológica, empregando métricas de paisagem e análise hierárquica (AHP) como base para ações de planejamento e conservação territorial. A metodologia considerou o período de 1985 a 2022, utilizando métricas de área, área núcleo e forma das manchas para avaliar alterações na conectividade e fragmentação ecológica. Os resultados indicam uma redução de 19,4% na cobertura natural e 33,39% nas áreas de sensibilidade ecológica, associadas principalmente à expansão agrícola e urbanização. Áreas com sensibilidade, em 2022, concentram-se em regiões de declividade, enquanto zonas planas são dominadas por usos antrópicos. O estudo destaca a necessidade urgente de políticas de conservação, criação de corredores ecológicos e restauração de áreas degradadas, visando mitigar os impactos humanos, preservar a biodiversidade e garantir a resiliência ambiental das bacias hidrográficas.

PALAVRAS-CHAVES: Paisagem; Sensibilidade Ecológica; Bacias Hidrográficas; Transformações Espaço-Temporais; Análise Hierárquica.

LANDSCAPE AND ECOLOGICAL SENSITIVITY IN THE HYDROGRAPHIC REGION OF THE GUAÍBA BASIN/RS: AN ANALYSIS OF THE DYNAMICS IN THE ALTO JACUÍ, BAIXO JACUÍ, PARDO, AND VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM BASINS

ABSTRACT
The present study examines the impacts of natural and anthropogenic dynamics on the landscapes of the Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Pardo, and Vacacaí-Vacacaí Mirim hydrographic basins, located in the Guaíba Hydrographic Region, Rio Grande do Sul, Brazil. These areas have undergone significant modifications in their structure and function due to intense interactions with human activities over time. The main objective was to analyze the spatiotemporal transformations of natural and anthropogenic landscapes and identify areas of ecological sensitivity, using landscape metrics and hierarchical analysis (AHP) as a basis for territorial planning and conservation actions. The methodology covered the period from 1985 to 2022, applying metrics of area, core area, and patch

shape to assess changes in connectivity and ecological fragmentation. Results indicate a 19.4% reduction in natural cover and a 33.39% decrease in ecological sensitivity areas, primarily associated with agricultural expansion and urbanization. In 2022, sensitive areas were concentrated in sloped regions, while flat areas were dominated by anthropogenic uses. The study underscores the urgent need for conservation policies, the creation of ecological corridors, and the restoration of degraded areas to mitigate human impacts, preserve biodiversity, and ensure the environmental resilience of the hydrographic basins.

KEYWORDS: Landscape; Ecological Sensitivity; Watersheds; Space-Time Transformations; Hierarchical Analysis.

INTRODUÇÃO

A abordagem do planejamento da paisagem, especialmente quando vinculada à ecologia da paisagem e ao planejamento de bacias hidrográficas, abarca a integração de elementos naturais e humanos em uma área geográfica específica. A paisagem é concebida como um sistema dinâmico no qual os processos ecológicos, a distribuição de habitats, a topografia e as atividades antrópicas estão intrinsecamente interligadas (Forman; Godron, 1986). O planejamento da paisagem busca gerenciar essas interações de forma sustentável, promovendo a conservação da biodiversidade, a qualidade ambiental e o bem-estar humano (Wu, 2008).

A bacia hidrográfica é entendida como uma área drenada por um rio ou sistema fluvial, operando como um sistema aberto com entrada e saída de energia e matéria (Christofoletti, 1980). A sua utilização como unidade de planejamento é algo já aceito e pré-estabelecido, principalmente, na área de estudo da geografia. Além de unidades geográficas integradoras de recursos naturais, as bacias hidrográficas são reconhecíveis e facilmente caracterizáveis, representando limites marcantes para o ordenamento territorial (Santos, 2004).

Os ecossistemas hídricos desempenham um papel crucial nos processos ecológicos da paisagem devido à sua natureza de ecótono, facilitando intensas trocas de substâncias conforme variam os gradientes de umidade, luminosidade e natureza do substrato (Fernandes, 2021). Especificamente nos sistemas fluviais "(...) o carácter variável do seu caudal e energia de escoamento ao longo do seu traçado determina, igualmente, gradientes dinâmicos geradores de intensas variações na heterogeneidade desses ecossistemas e dos processos a eles associados" (Fernandes, 2021, p. 163).

A heterogeneidade da paisagem, moldada por gradientes ou mosaicos, é composta por três elementos espaciais básicos: matriz, manchas e corredores (Meneguetti, 2007). A matriz, abrangendo a maior proporção territorial em uma área de análise, é crucial para a estruturação e conservação do ecossistema. Por meio de ações e transformações na paisagem, a matriz fragmenta-se, dispersando-se em manchas ou fragmentos - não lineares e lineares - espaciais com características homogêneas e

divergentes, das áreas circundantes, formando padrões na paisagem (Forman; Godron, 1986; Forman, 1995; 2004; 2008).

Os padrões da paisagem que surgem dos processos na matriz, transformando-a, majoritariamente derivam das atividades humanas, dinâmicas culturais e sobre os recursos naturais. Essas ações alteram a paisagem, anteriormente caracterizada por elementos espaciais homogêneos e regulares, para uma distribuição heterogênea, impactando não apenas a estrutura da paisagem, mas também desencadeando implicações e desafios para a biodiversidade, o ecossistema e o mosaico paisagístico.

Por sua vez, os ecossistemas hídricos desempenham funções essenciais, como assegurar a disponibilidade de água, promover a estabilidade do solo, oferecer proteção contra inundações e secas, além de fornecer importantes serviços ecossistêmicos. Adicionalmente, os ecossistemas fluviais desempenham um papel singular na conectividade, abrangendo linearmente todo o território e formando redes que conectam espaços diversos, promovendo diferenciação na estrutura e na capacidade de sustentação ecológica do território. Essa conectividade amplia a presença de recursos e perturbações diversas, facilitando vias de intercâmbio genético para inúmeras espécies e favorecendo condições ecológicas locais específicas. (Fernandes, 2021). Nesse contexto, destaca-se a relevância das áreas de preservação permanente (APP 's) ao longo dos recursos hídricos.

A compreensão dos padrões e processos espaciais através da ecologia da paisagem possibilita entender as transformações espaço-temporais do ambiente, incluindo áreas de sensibilidade, preservação, restauração e contenção, considerando os elementos naturais e suas dinâmicas em resposta às influências e dinâmicas antrópicas, para fins de planejamento da paisagem. A aplicação da metodologia de métricas da paisagem permite a análise da fragmentação, conectividade e complexidade dos arranjos espaciais, examinando o desenvolvimento e os fatores impulsionadores de sua configuração, fundamentados nas *"características estruturais da paisagem - que são observáveis, descritível e quantificáveis"* (Lang; Blaschke, 2009, p.16). Essas métricas oferecem informações sobre a composição e configuração, abrangendo a estrutura espacial de manchas (cada mancha da paisagem), classes (conjuntos de manchas do mesmo uso do solo) e da paisagem, que representa o conjunto de classes em uma área de interesse, permitindo comparações entre os diversos usos do solo (Botequilha-Leitão *et al.*, 2021).

As métricas da paisagem, em conjunto com o método de sobreposição de mapas temáticos de Ian McHarg, que busca atribuir uma escala de valores na forma de gradiente de cores aos atributos da paisagem, desempenham um papel fundamental no mapeamento de áreas de conservação,

urbanização e recreação, considerando diferentes níveis de uso do solo conforme sua vulnerabilidade ambiental às atividades humanas. A intensidade da cor e o valor mais elevado indicam uma maior sensibilidade, enquanto desvios desse padrão resultam em menor sensibilidade em relação ao tema em questão. Conforme ressaltado por Cocco (2020, p. 58), "este método pioneiro de McHarg é muito importante para a análise dos diferentes mosaicos de paisagens [...], pois permite aos arquitetos paisagistas e outros profissionais, a avaliação de critérios e o planejamento da paisagem (...)" em uma escala macro, abrangendo uma cidade, região ou, no caso específico, bacias hidrográficas.

Para realizar uma análise e planejamento ecológico da paisagem por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), é crucial manter uma interação constante com o processo decisório. Nesse contexto, a utilização da análise multicritério, especificamente o Processo de Hierarquia Analítica (AHP), destaca-se como um dos métodos mais empregados para avaliar os atributos da paisagem. Introduzido por Thomas Wharton em 1977 e amplamente adotado nos estudos de Thomas Saaty sobre múltiplos critérios, o AHP envolve a confrontação de diversos fatores e variáveis, caracterizando-os de acordo com o objetivo do estudo e hierarquizando-os mediante a atribuição de pesos (Cocco, 2020).

No contexto do planejamento da paisagem, a hierarquização das variáveis por meio da atribuição de pesos é uma ferramenta crucial para definir e avaliar regiões quanto à sua sensibilidade ecológica e/ou antrópica, bem como quanto ao seu potencial/atratividade em diferentes graus de importância, como extremamente alta, alta, média, baixa e extremamente baixa (Cocco, 2020). Essas potencialidades podem estar vinculadas a distintos níveis de conservação e preservação ambiental, ou ainda, ao potencial uso para atividades de lazer e recreação. A identificação dessas áreas, principalmente em relação à sensibilidade ecológica, foco do presente artigo, aponta para ações específicas diante das classificações, conforme destacado por Cocco (2020, p. 59): "as áreas de baixa sensibilidade podem ser ocupadas, as áreas de mediana sensibilidade devem ter restrições de usos e as áreas de alta sensibilidade necessitam da restauração de seus ecossistemas degradados, isto é, de preservação ambiental imediata".

Nesse sentido, no estado do Rio Grande do Sul, o Rio Jacuí em seu ecossistema hídrico (Figura 1) desempenha um papel crucial não apenas em termos hídricos, mas também socioeconômicos. Sua importância é acentuada pela presença de extensos reservatórios e usinas hidrelétricas, além de ser uma área de destaque para as principais produções agrícolas do estado. Além disso, o Rio Jacuí atua como uma zona de transição entre os Biomas Mata Atlântica e Pampa, exibindo uma notável diversidade paisagística e sendo sujeito a transformações constantes na paisagem.

Figura 1 - Localização do Rio Jacuí no estado do Rio Grande do Sul contemplado pela Região Hidrográfica do Guaíba.

Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Originando-se no município de Passo Fundo, na região noroeste, o rio se estende por 800 quilômetros até a região metropolitana de Porto Alegre, ampliando sua extensão ao longo desse

percurso. O Rio Jacuí integra a região hidrográfica da Bacia do Guaíba, que abrange nove bacias, sendo a do Lago Guaíba o destino final para todo o fluxo hídrico.

Com o propósito de aprofundar as pesquisas sobre o Rio Jacuí e sua diversidade paisagística, busca-se contribuir para o avanço do entendimento, fornecendo orientações para o ordenamento e planejamento da sua paisagem. Dessa forma, este artigo tem como propósito analisar as dinâmicas das paisagens naturais e antrópicas, bem como identificar áreas de sensibilidade ecológica nas bacias hidrográficas do Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Vacacaí-Vacacaí Mirim e Pardo, situadas a oeste da Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba. Para alcançar esse objetivo, serão empregadas métricas da paisagem, análise hierárquica e uma abordagem temporal abrangendo o período de 1985 a 2022.

A escolha das quatro bacias hidrográficas é fundamentada no fato de que a extensão predominante do Rio Jacuí abrange as bacias do Alto Jacuí e Baixo Jacuí, enquanto as bacias do Pardo e Vacacaí-Vacacaí Mirim exercem uma influência significativa, visto que seus principais recursos hídricos desaguam no Rio Jacuí. Além disso, essa seleção está associada ao fato de que essas quatro bacias hidrográficas geram impactos encadeados, especialmente ao sul de outras quatro (bacia do Taquari-Antas, Caí, Sinos, Gravataí), e todas essas oito bacias influenciam integralmente na Bacia do Lago Guaíba. Tais impactos são de natureza qualiquantitativa, abrangendo aspectos ambientais, socioeconômicos, recreativos, produtivos e, principalmente, no abastecimento e qualidade de água para os habitantes.

SENSIBILIDADE ECOLÓGICA

Nos últimos anos, as alterações na paisagem têm revelado uma notável simplificação, levando à desumanização dos espaços urbanos, à perda do patrimônio biológico e ao despovoamento das áreas rurais. Essas mudanças refletem uma falta de sensibilidade em relação ao valor e à complexidade da paisagem, indicando uma ignorância ou indiferença em relação às suas características singulares e fragilidades intrínsecas. Esses fatores têm contribuído para o surgimento e/ou acumulação de problemas e desequilíbrios em várias dimensões, incluindo elementos ecológicos, urbanos, sociais e ambientais (Freire, 2021).

Nesse contexto, a sensibilidade é entendida como a "capacidade de detectar fenômenos, objetos, processos ou sistemas" (Fernandes, 2021, p. 73) que afetam a paisagem de forma positiva ou negativa. Dessa forma, uma perturbação é definida genericamente "como qualquer evento que impacta a composição, estrutura e função de ecossistemas, comunidades ou populações, resultando em mudanças nos recursos disponíveis" (Guiomar *et al.*, 2021, p.119-120). Como resultado imediato

e evidente de uma perturbação ecológica, observa-se frequentemente a destruição total ou parcial da vegetação. Após a cessação da influência dos fatores de perturbação, o processo de regeneração é desencadeado devido ao legado biológico que persiste no local (Guiomar *et al.*, 2021).

A compreensão da sensibilidade ecológica é essencial para a promoção da conservação da biodiversidade, a prevenção de impactos adversos e a elaboração de estratégias sustentáveis de uso da terra. Além disso, a sensibilidade ecológica é crucial para a identificação de áreas prioritárias para preservação e restauração, contribuindo para a sustentabilidade a longo prazo dos ecossistemas.

MÉTRICAS DA PAISAGEM

As métricas da paisagem referem-se a ferramentas quantitativas utilizadas para medir e descrever características espaciais e estruturais de uma paisagem. Essas medidas proporcionam insights sobre a composição, configuração e dinâmica de elementos no ambiente, contribuindo para a compreensão de padrões e processos paisagísticos.

Segundo Turner *et al.* (2001), as métricas da paisagem são ferramentas indispensáveis para analisar sua estrutura e funcionamento, oferecendo uma abordagem sistemática para compreender fenômenos ecológicos em escalas espaciais mais amplas. Elas abrangem uma variedade de aspectos, incluindo a distribuição de diferentes tipos de cobertura do solo, a conectividade entre fragmentos, e a forma e tamanho das manchas na paisagem.

As métricas da paisagem podem ser avaliadas em três níveis: o nível de fragmentos, o de classe e o da paisagem. Além disso, elas se dividem em métricas estruturais e funcionais. As métricas estruturais mensuram a estrutura e configuração do mosaico sem relação com um processo ecológico específico. Por outro lado, as métricas funcionais avaliam o padrão da paisagem de uma forma funcionalmente relevante para o processo em consideração, demandando, assim, um parâmetro específico para sua avaliação (Botequilha-Leitão *et al.*, 2021). O Quadro 1, a seguir apresenta, descreve e salienta as características das três métricas da paisagem que serão aplicadas neste artigo.

Quadro 1 - Caracterização de métricas da paisagem que serão aplicadas no presente estudo.

Métrica	Tipo	Características
Área e Percentagem	Métrica estrutural	A métrica de área representa a medida mais facilmente interpretável e amplamente difundida da estrutura da paisagem, sendo talvez a mais crucial. Tanto a área quanto a percentagem da classe são métricas de composição de interpretação simples e extremamente úteis para descrever o padrão espacial em diversas paisagens. A proporção ocupada por cada classe de uso do solo na paisagem está diretamente relacionada com o habitat disponível para diferentes espécies animais e vegetais.
Área núcleo	Métrica funcional	A área nuclear refere-se à porção do fragmento que não sofre os efeitos da borda. Essa métrica é construída ao calcular uma área de amortecimento (buffer) negativo dirigido para o interior da região analisada. A largura do buffer corresponde à extensão do efeito de borda considerado para a espécie em estudo. A manutenção da área nuclear está sujeita, em vários aspectos, às características geométricas do fragmento examinado. Fragmentos de grandes dimensões podem incluir áreas relativamente extensas a distâncias significativas de seus limites externos. Além do tamanho, a forma desempenha um papel crucial. Fragmentos com formas alongadas e muito irregulares geralmente tendem a ter uma área nuclear menor.
Forma	Métrica estrutural	A métrica de forma é um índice de compacidade fundamentado na ideia de que um círculo ou um quadrado contém a máxima área interna com um perímetro mínimo. Dessa forma, fragmentos com formatos mais simples apresentam valores de forma próximos de 1,0, ao passo que fragmentos com formas mais complexas têm valores superiores a 1,0. Essa métrica pode ser avaliada no nível de fragmentos, classes e da paisagem. Fragmentos com formas complexas possuem mais bordas expostas à paisagem circundante, permitindo interações mais amplas, como atividades humanas, vegetação e fauna.

Fonte: adaptado de Botequilha-Leitão *et al.* (2021).

A análise dos padrões utilizando métricas da paisagem também pode ser empregada no desenvolvimento de modelos espaço-temporais. Isso ocorre à medida que os usos e coberturas do solo em uma determinada localização geográfica mudam ou respondem a ações e pressões. Essa abordagem oferece diversas possibilidades para simular a estrutura e composição da paisagem, considerando cenários pré-estabelecidos, em evolução, atuais e futuros (Botequilha-Leitão *et al.*, 2021).

A análise de métricas da paisagem se revela crucial para a avaliação da sensibilidade ecológica, proporcionando dados fundamentais na descrição dos níveis de suscetibilidade ambiental. Nesse contexto, Wu (2004) ressalta que a aplicação dessas métricas permite uma compreensão mais profunda da estrutura espacial da paisagem, possibilitando a identificação de áreas com distintos

graus de sensibilidade a mudanças ecológicas. Além disso, conforme destacado por Haines-Young e Chopping (1996), as métricas da paisagem oferecem uma abordagem quantitativa essencial para caracterizar padrões e processos, contribuindo assim para indicar áreas de maior ou menor sensibilidade. A análise desses dados quantitativos é vital para embasar estratégias de conservação e gestão ambiental, sendo uma ferramenta valiosa na tomada de decisões orientadas para a preservação da biodiversidade e a promoção da resiliência ecossistêmica.

ANÁLISE HIERÁRQUICA

O mapeamento de áreas de sensibilidade, independentemente do tema, envolve uma análise que requer a consideração de diversas variáveis, incorporando relações intrínsecas entre critérios tangíveis e intangíveis. A metodologia AHP (Processo de Hierarquia Analítica) proporciona uma abordagem matemática rigorosa que hierarquiza de maneira criteriosa a tomada de decisões, simplificando o processo e reduzindo erros associados às etapas de julgamento. A análise pareada das variáveis, por meio de hipóteses, possibilita a identificação da melhor alternativa, conferindo maior precisão aos resultados (Weiss, Pippi, 2019).

A acurácia é respaldada pela capacidade de verificar a consistência da avaliação da análise, avaliando a atribuição coerente dos pesos por meio do cálculo da Razão de Consistência (RC), a qual deve situar-se entre 0 e 0,10 para atender às simulações. Esse método de decisão permite integrar aspectos quantitativos (parte objetiva) e qualitativos (parte subjetiva) (Weiss, Pippi, 2019).

A metodologia AHP consiste na hierarquização dos elementos da análise por meio da atribuição de pesos, considerando seu grau de importância. Essa abordagem simplifica um sistema complexo, resultando em uma matriz de comparações pareadas das variáveis e proporcionando uma definição linear da hierarquia de importância numa escala de 1 (importância igual) a 9 (importância absoluta), conforme a metodologia de comparação proposta por Saaty (1980).

Na perspectiva da sensibilidade ecológica, essa metodologia possibilita a ponderação das variáveis pertinentes, levando em consideração sua contribuição relativa na avaliação da sensibilidade ambiental. Ao estruturar hierarquicamente os critérios e subcritérios associados à sensibilidade ecológica, é viabilizada uma avaliação sistemática e objetiva das interações entre diversos fatores. Essa abordagem hierárquica na determinação da sensibilidade ecológica estabelece uma base metodológica robusta para a tomada de decisões embasadas na gestão ambiental e na conservação.

ÁREA DE ESTUDO

O estado do Rio Grande do Sul é composto por três regiões hidrográficas: a da bacia do Guaíba (30%), a das bacias Litorâneas (13%) e a da bacia do rio Uruguai (57%). Dentre as 9 bacias hidrográficas da Região da Bacia do Guaíba, quatro serão analisadas no presente estudo, a do Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Vacacaí-Vacacaí Mirim e Pardo, em que é possível ver suas características no Quadro 2, a seguir.

Quadro 2 - Caracterização das bacias hidrográficas alvos de estudo do presente artigo.

Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba			
Alto Jacuí	Baixo Jacuí	Pardo	Vacacaí-Vacacaí Mirim
13.064 km² (15,32%)	17.359 km² (20,36%)	3.638 km² (4,27%)	11.177 km² (13,11%)
305.822 habitantes	365.764 habitantes	232.442 habitantes	373.264 habitantes
41 municípios	40 municípios	13 municípios	14 municípios

Fonte: adaptado da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2023).

O Rio Jacuí tem sua origem em Passo Fundo, sendo que logo no seu início de percurso a Usina Hidrelétrica e o Reservatório de Passo Real, construídos em 1973 no município de Salto Jacuí, abrangendo uma área de 230 quilômetros quadrados para armazenamento de água. Em seguida, segue-se a Usina Hidrelétrica Leonel de Moura Brizola, construída em 1962 no município de Salto do Jacuí, seguida pela Usina de Itaúba, em Pinhal Grande, erguida em 1978, e a Usina de Dona Francisca, em Nova Palma, construída em 2011. A última usina hidrelétrica marca a transição entre os biomas Mata Atlântica e Pampa e apresenta uma unidade de conservação, como compensação pela área alagada, nomeada como Parque Estadual da Quarta Colônia, criada em 2005.

O Rio Vacacaí e o Vacacaí Mirim são os principais recursos hídricos na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim, desaguando no Rio Jacuí nas proximidades do limite entre o município de Restinga Seca, a leste, e o rio. O Rio Pardo ocupa posição central na bacia hidrográfica do Pardo, e sua confluência com o Rio Jacuí ocorre na área urbanizada do município de Rio Pardo. O Rio das Antas, que se transforma no Rio Taquari no município de Santa Bárbara, na bacia hidrográfica

Taquari-Antas, deságua no Rio Jacuí, com suas margens caracterizadas pelo desenvolvimento urbano dos municípios de Triunfo e São Jerônimo.

Os rios Caí, Sinos e Gravataí despontam como os principais recursos hídricos em suas respectivas bacias hidrográficas, desaguando no Rio Jacuí ao atingir a região metropolitana e o município de Porto Alegre. Nesse ponto, o Rio Jacuí conecta-se ao Lago Guaíba, o qual, por sua vez, deságua na Lagoa dos Patos, e esta estende-se para o sul, integrando a região hidrográfica das bacias litorâneas e alcançando o oceano Atlântico Sul, conjuntamente a mancha urbana consolidada do município de Rio Grande.

Nas bacias hidrográficas, o bioma Pampa abrange 71,14% do território, enquanto o bioma Mata Atlântica compreende 28,86%. A bacia do Guaíba destaca-se por abrigar extensas áreas de intensa concentração industrial e urbana, sendo a região mais densamente habitada do Estado. Além disso, é o epicentro de uma diversidade de atividades, englobando setores agrícolas e pecuários, bem como atividades agroindustriais, industriais, comerciais e de serviços. Diante desse panorama, torna-se evidente a importância do rio para a população gaúcha, diretamente e indiretamente, e para a economia e os serviços ecossistêmicos do estado.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste artigo foi estruturada em duas etapas principais, abrangendo uma análise temporal referente aos anos de 1985, 2005 e 2022, representando, respectivamente, os dados mais antigos disponíveis, um marco intermediário e o ano mais recente analisado.

ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM

Na primeira etapa, realizou-se a caracterização das quatro bacias hidrográficas em estudo, com foco nos usos e na cobertura do solo. O objetivo foi identificar e caracterizar áreas com dinâmicas naturais e/ou antrópicas, utilizando gradientes. Para tanto, os dados do MapBiomas (Coleção 8.0) foram organizados em camadas temáticas no software *ArcGIS Pro*. As categorias de uso do solo foram classificadas como:

- **Paisagens naturais:** Formação Florestal, Formação Campestre, Afloramento Rochoso, Restinga Arborizada, Campo Alagado e Recursos Hídricos.
- **Paisagens antrópicas:** Silvicultura, Pastagem, Mosaico de Usos, Soja, Arroz, Outras Lavouras Temporárias, Outras Áreas Não Vegetadas, Área Urbana e Mineração.

As análises foram refinadas com o uso de ferramentas de interpolação e geoestatística, envolvendo conversões entre formatos raster e vetor, cálculo de densidade de pontos e aplicação da calculadora raster. Esses procedimentos foram essenciais para delimitar áreas com dinâmicas mais naturais ou mais intensamente impactadas por ações humanas.

ETAPA 2: ANÁLISE HIERÁRQUICA E SENSIBILIDADE ECOLÓGICA

A segunda etapa consistiu na análise hierárquica das métricas da paisagem para mapear a sensibilidade ecológica. Foram utilizadas métricas como:

- **Área total:** Representa a extensão das manchas de uso.
- **Área núcleo:** Determinada por meio de um buffer negativo de 60 metros, delimitando as zonas centrais das manchas. Fragmentos menores que 1 hectare foram excluídos, considerando a escala de trabalho (1:4.000.000).
- **Forma das manchas (ou Índice de Forma):** Avalia a complexidade da forma de um fragmento em relação a outro de mesma área com a forma mais simples e compacta possível. O índice é igual a 1 para formas perfeitamente compactas e aumenta à medida que a forma se torna mais irregular.

Os cálculos das métricas foram realizados nos softwares *ArcGIS Desktop/Pro* e *V-LATE*. As informações geradas foram organizadas em camadas raster e submetidas à análise hierárquica no software *Super Decisions*, onde foram atribuídos pesos às classes das variáveis analisadas conforme a metodologia de escala de comparação de Saaty (1980). Esse processo considerou as relações entre as variáveis, destacando a área núcleo e a forma como as mais relevantes, seguidas pela área total.

Os métodos aplicados permitirão a elaboração de mapas temáticos que representam os usos do solo, as dinâmicas da paisagem e as áreas de sensibilidade ecológica para os anos de 1985, 2005 e 2022. Essa abordagem fornecerá uma perspectiva temporal sobre as transformações ocorridas ao longo de 37 anos, identificando as áreas que passaram por maiores alterações nas bacias hidrográficas estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

DINÂMICAS DA PAISAGEM

Para a caracterização da paisagem ao longo de um período de 37 anos, foram mapeados os usos do solo e as dinâmicas naturais e culturais. A análise visual dos mapas na Figura 2, aliada a uma

avaliação quantitativa preliminar, Quadro 3, evidencia uma transformação na paisagem que, inicialmente homogênea e regular, evoluiu para uma configuração mais heterogênea, com uma marcante presença de dinâmicas culturais.

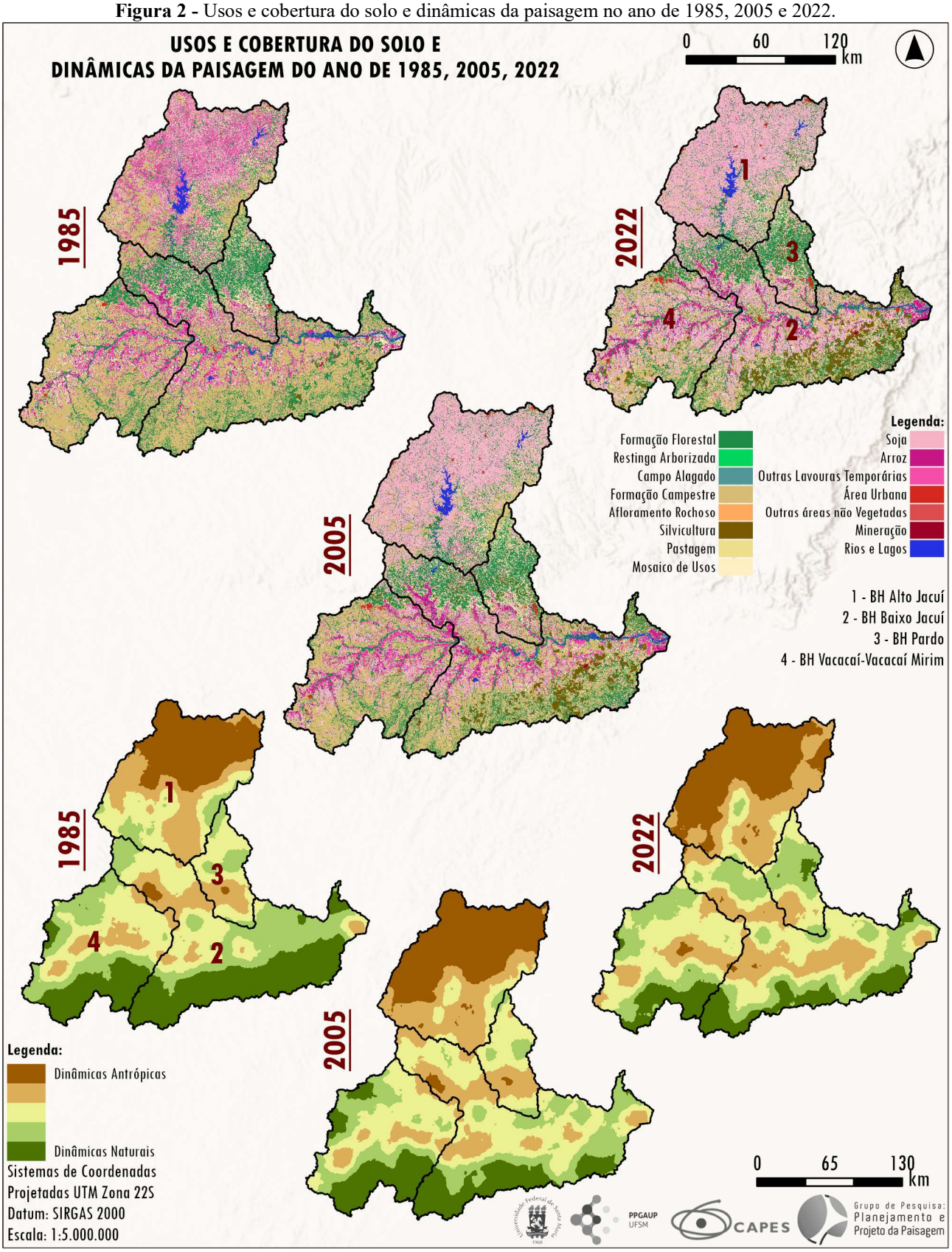
Quadro 3 - Caracterização das dinâmicas naturais e culturais da paisagem das bacias hidrográficas.

	1985		2005		2022	
Paisagem	Natural	Antrópica	Natural	Antrópica	Natural	Antrópica
Alto Jacuí	479.985,05 ha 36,74%	826.398,54 ha 63,26%	340.717,12 ha 26,08%	965.515,54 ha 73,92%	287.748,65 ha 22,03%	1.018.542,70 ha 77,97%
Baixo Jacuí	1.270.094,43 ha 73,17%	465.731,11 ha 26,83%	1.050.757,08 ha 60,56%	684.439,22 ha 39,44%	838.199,97 ha 48,30%	897.362,04 ha 51,70%
Pardo	208.625,44 ha 57,36%	155.074,64 ha 42,64%	181.930,79 ha 50,07%	181.453,68 ha 49,93%	180.810,85 ha 49,76%	182.527,48 ha 50,24%
Vacacaí-Vacacaí Mirim	775.453,82 ha 69,38%	342.230,66 ha 30,62%	720.277,92 ha 64,45%	397.362,76 ha 35,55%	549.357,19 ha 49,15%	568.320,96 ha 59,85%
Paisagem das Bacias Hidrográficas	2.734.158,76 ha 60,44%	1.789.434,96 ha 39,56%	2.293.682,93 ha 50,72%	2.228.771,22 ha 49,28%	1.856.116,68 ha 41,04%	2.666.753,20 ha 58,96%

Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Na análise das bacias hidrográficas, destaca-se a do Alto Jacuí como a mais preocupante, pois, em 1985, já apresentava um domínio antrópico de 63% da paisagem, chegando a 78% em 2022, impulsionado principalmente pela expansão da cultura da soja. Ainda que a totalidade da paisagem não esteja sob domínio exclusivo de dinâmicas culturais, devido à presença de áreas destinadas a reservatórios de usinas hidrelétricas e áreas com declividade desfavorável à mecanização agrícola ou sujeitas a restrições de uso, é necessário um olhar cuidadoso para planejar, gerenciar e implementar práticas que otimizem a conectividade dos ecossistemas naturais. As áreas de preservação permanente e reserva legal, ao formarem conjuntos de manchas lineares, possuem potencial para aprimorar a interconexão dos ecossistemas, requerendo estratégias eficazes de planejamento e gestão.

Figura 2 - Usos e cobertura do solo e dinâmicas da paisagem no ano de 1985, 2005 e 2022.



Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí, observam-se quatro dinâmicas distintas. Na extremidade norte, próxima à bacia do Alto Jacuí, há uma expansão significativa da cultura de soja, seguida, devido à topografia inclinada, por extensas áreas de vegetação natural que, no entanto, exibem perfurações em sua matriz. Logo após essa transição de declividade, onde o território é plano e caracterizado pela depressão central e pelo bioma Pampa, os usos culturais predominam ao longo do rio Jacuí. Ao Sul (transição da depressão central com o escudo sul-riograndense) e a oeste da bacia, a formação campestre ainda está presente, mas está perdendo espaço para a silvicultura. A redução de 25% da paisagem natural, consolidando-se em 52% da paisagem para usos antropogênicos, ressalta a necessidade urgente de ações de conservação para preservar o que ainda resta no presente, visando o futuro.

A bacia hidrográfica do Pardo, ao norte, compartilha características semelhantes de vegetação natural com a bacia mencionada anteriormente, devido à presença das declividades e à transição da depressão central para o planalto meridional. A porção do território com relevo mais plano, ao longo do rio Pardo, é predominantemente dedicada a usos agrícolas. Essa bacia exibe uma distribuição equilibrada entre usos naturais e culturais, com metade da paisagem destinada a cada categoria. No entanto, enfatiza-se a importância contínua de monitoramento e planejamento da paisagem para garantir uma gestão sustentável.

Quanto à bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim, em 1985, ela exibia uma grande presença da formação campestre, característica do bioma Pampa. No entanto, ao longo dos anos, houve uma perda significativa (20%) da paisagem natural para dinâmicas culturais, principalmente devido à expansão da cultura de soja ao longo dos rios que compõem a bacia.

Esse contexto ressalta a relevância do estudo da paisagem nas quatro bacias hidrográficas e a cartografia das áreas de sensibilidade ecológica para orientar o planejamento da paisagem. Isso se deve à importância fundamental e ao impacto que os processos ecológicos e as dinâmicas exercem nos ecossistemas, na configuração da paisagem e na qualidade de vida dos habitantes.

ANÁLISE HIERÁRQUICA E MÉTRICAS DA PAISAGEM

Os resultados provenientes da aplicação da análise hierárquica representam operações algébricas utilizadas para identificar áreas de sensibilidade ecológica com base nas métricas da paisagem, incluindo área, área núcleo e forma das manchas. Para avaliar a sensibilidade ecológica na área de estudo, os mapas correspondentes às métricas foram categorizados em cinco classes. A avaliação dessas classes foi realizada de acordo com a atribuição de valores de 0 a 10, considerando

as interferências e impactos potenciais que cada classe poderia exercer no contexto de sensibilidade ecológica. Assim, as classes com as maiores áreas em metros quadrados para as métricas de área e área núcleo foram atribuídas a pesos proporcionalmente superiores através do método de quebra natural de seus valores.

No que diz respeito à métrica de forma, devido ao seu método de cálculo - perímetro do fragmento dividido pela raiz quadrada da área e dividido por 4 - um fragmento quadrado, frequentemente associado à ação antropogênica, terá um valor de 1 (como também observado na rasterização dos dados, onde ocorre a deformação das informações em relação a fragmentos mais curvilíneos em sua conversão em pixels), enquanto que para uma mancha com formato circular seu valor será de 0,88 (valor observado em dados vetoriais). Assim, quanto mais recortado e menor área um fragmento, maior será seu índice de forma (Volotão, 1998). Além disso, os fragmentos que possuem formas complexas têm mais borda exposta à paisagem circundante, permitindo uma maior interação que varia de positiva a negativa (Botequilha-Leitão *et al.*, 2021).

Entretanto, os autores André Botequilha-Leitão e Sónia Ribeiro afirmam, a partir de estudos que foram realizados, que quanto mais borda a mancha tiver, maior será o efeito de borda, resultando em *"um microclima diferente, uma maior diversidade de plantas e animais, e uma maior predação de espécies originárias de fora do fragmento"* (2021, p.246). Com isso, os valores mais baixos do índice receberam os maiores pesos por meio da disposição de intervalos iguais entre os valores do índice para a paisagem das bacias hidrográficas. O Quadro 4 apresenta a classificação das variáveis incluindo os valores correspondentes de importância e os pesos atribuídos a cada classe.

Quadro 4 - Classificação e atribuição de importância e peso para cada uma das classes em relação às três variáveis da análise hierárquica em função das métricas da paisagem.

Sensibilidade Ecológica pelas Métricas da Paisagem			
Área	**Área Núcleo**	**Forma**	**Índice de importância normalizado**
Classes			
Áreas muito pequenas	Áreas muito pequenas	Muito baixa complexidade	1 / 0,0927 Muito Fraco
Áreas pequenas	Áreas pequenas	Baixa complexidade	3 / 0,1595 Fraco
Áreas médias	Áreas médias	Complexidade média	5 / 0,3026 Moderado
Áreas grandes	Áreas grandes	Alta complexidade	7 / 0,5684 Forte
Área muito grandes	Área muito grandes	Muito alta complexidade	9 / 1,00 Muito Forte
Quebra natural dos valores de área em metros quadrados	Quebra natural dos valores de área em metros quadrados	Intervalos iguais entre os valores do índice de forma	

Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

As métricas foram aplicadas exclusivamente a cinco usos do solo na paisagem da área de estudo, considerados fundamentais para os processos ecológicos devido à sua natureza natural. Esses usos do solo incluem Formação Florestal, Formação Campestre, Afloramento Rochoso, Restinga Arborizada e Campo Alagado.

O Quadro 5 apresenta uma visão geral da quantidade de fragmentos para os 5 usos do solo selecionados, em nível de paisagem e com base nas métricas da paisagem, bem como algumas informações sobre os tamanhos desses fragmentos. Além disso, fornece dados relativos ao critério de exclusão da métrica de área núcleo e os valores alcançados pelo índice de forma.

Quadro 5 - Quantidade de fragmentos e tamanhos relativos aos usos do solo selecionados e a aplicação das métricas da paisagem.

	Anos	1985	2005	2022
Paisagem	Número de Fragmentos	169.450	238.110	254.152
Área das manchas	Maior fragmento (m²)	3.305.918.909,72	1.036.910.193,89	1.536.384.282,95
	Menor Fragmento (m²)	493,55	493,61	493,57
Área núcleo	Número de fragmentos após o "buffer negativo"	33.584	35.587	38.854
	Critério de exclusão (fragm. até 1 ha)	21.080	22.580	24.728
	Número de fragmentos	12.504	13.007	13.007
	Maior fragmento (m²)	1.995.729.620,34	706.758.775,92	760.585.383,33
	Menor fragmento (m²)	10.000	10.000	10.000
Índice Forma	Formas menos complexas	1,046	1,045	1,042
	Formas bem complexas	114,016	84,228	111,40

Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Após estabelecer os pesos para as classes das variáveis e entre as variáveis por meio de uma matriz de comparação (Quadro 6), procedeu-se à avaliação da veracidade das atribuições através do cálculo da razão de consistência (RC). O resultado obtido foi RC = 0,01211, atendendo ao requisito <0,10 e >0, o que leva à conclusão de que os pesos definidos são aceitáveis.

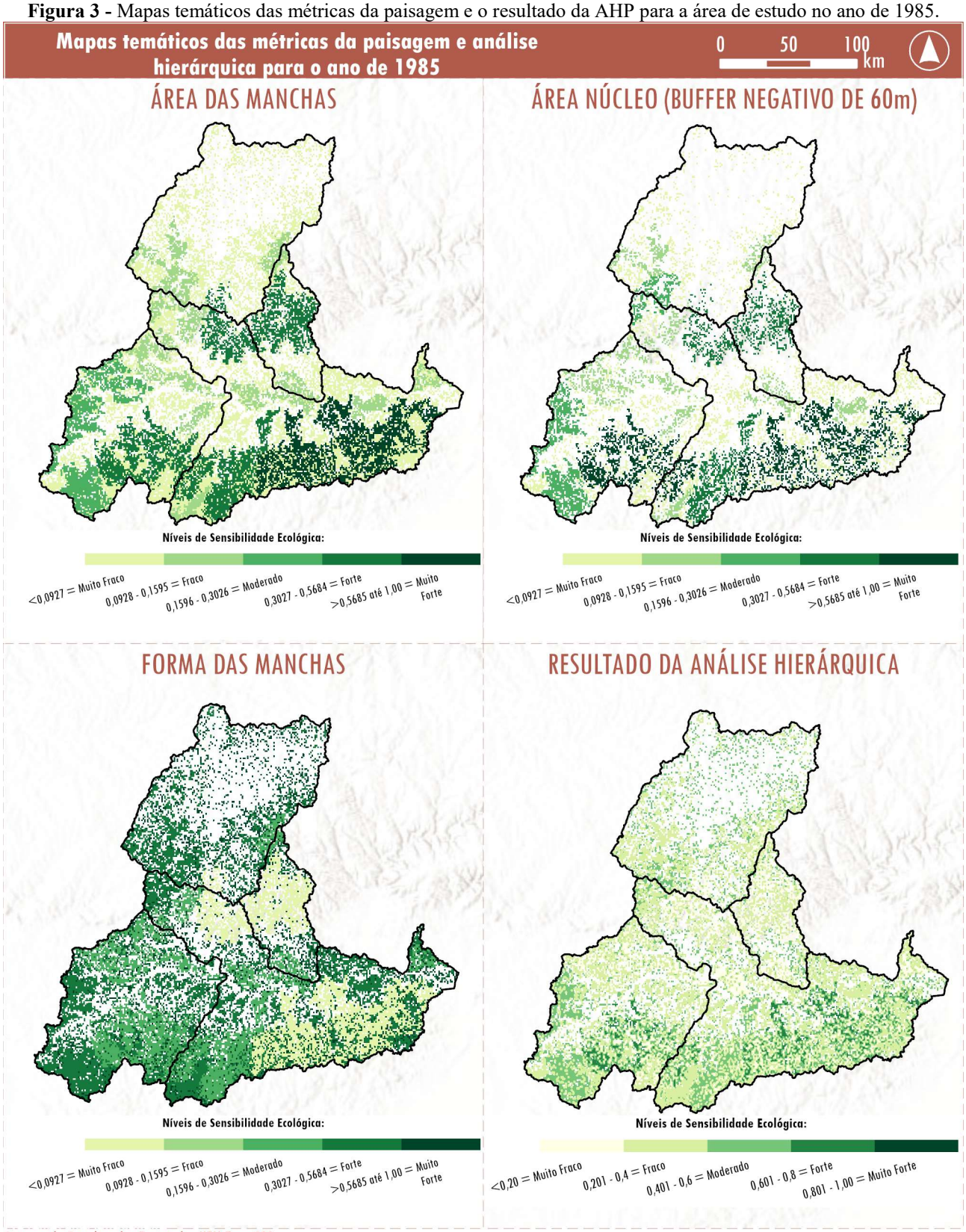
A etapa final da análise consiste na integração das variáveis utilizando a álgebra de mapas em software ArcGis Pro. Isso resultou na determinação da sensibilidade ecológica pelas métricas da paisagem para os anos de 1985, 2005 e 2022, conforme expresso pela equação destacada ao final do Quadro 6. As Figuras 3, 4 e 5 exibem os mapas das métricas, representando as cinco classes de acordo com a importância e peso atribuídos, conforme já apresentado no Quadro 4. Além disso, exibem o resultado final da análise hierárquica após o processo de álgebra e a classificação em 5 categorias.

Quadro 6 - Matriz de comparação da importância e pesos para as variáveis das métricas da paisagem.

Variáveis das Métricas	Área	Área Núcleo	Forma	Pesos	Razão de Consistência
Área	1	1/7	1/5	0,07782	0,01211
Área Núcleo	7	1	1	0,48692	
Forma	5	1	1	0,43526	
Algebra = SHAPEárea*0,07782+SHAPEáreanucleo*0,48692+SHAPEforma*0,43526 (x1985/x2005/x2022)					

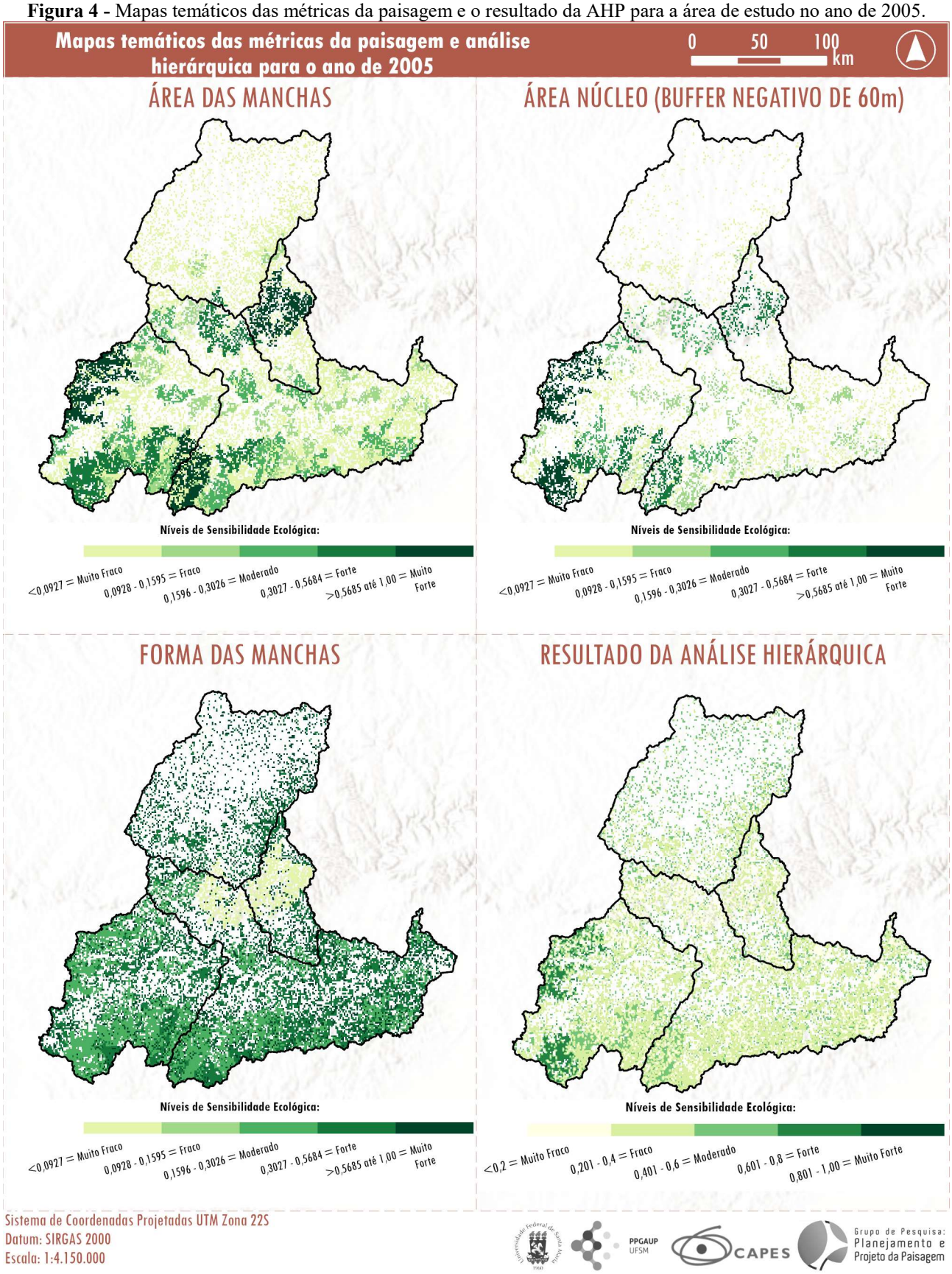
Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Figura 3 - Mapas temáticos das métricas da paisagem e o resultado da AHP para a área de estudo no ano de 1985.



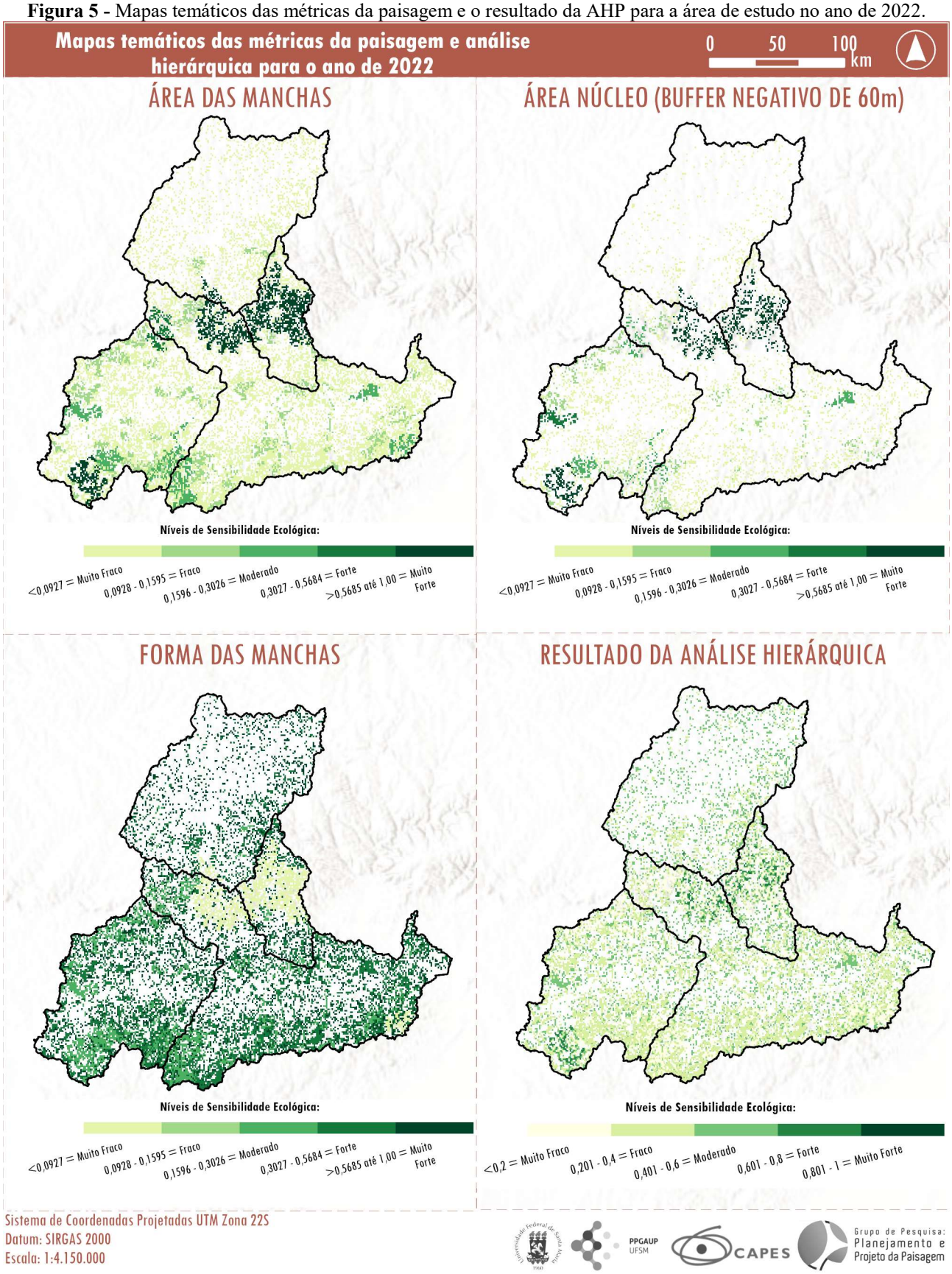
Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Figura 4 - Mapas temáticos das métricas da paisagem e o resultado da AHP para a área de estudo no ano de 2005.



Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

Figura 5 - Mapas temáticos das métricas da paisagem e o resultado da AHP para a área de estudo no ano de 2022.



Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

A análise visual comparativa das métricas ao longo de 1985, 2005 e 2022 revela tendências significativas na configuração da paisagem e sua sensibilidade ecológica. Observa-se uma diminuição gradual das áreas de manchas associadas aos usos naturais do solo, acompanhada por fragmentação e dispersão em pequenas manchas, especialmente nas proximidades de recursos hídricos. Essa mudança é evidenciada pela métrica de área núcleo, que indica que menos de 10% do total de manchas mantém áreas de interesse ecológico após a aplicação do buffer.

No tocante ao índice de forma, as manchas menores e fragmentadas, situadas entre áreas cultivadas, apresentam menor efeito de borda, embora estejam isoladas. Em contrapartida, manchas maiores, devido à fragmentação e recortes sofridos, demonstram um aumento no efeito de borda, o que pode ter implicações negativas para a biodiversidade local. Esse aumento no efeito de borda pode criar microclimas distintos e favorecer a invasão por espécies exóticas, como apontado por Botequilha-Leitão e Ribeiro (2021). Essas alterações destacam a necessidade de estratégias de mitigação para proteger a biodiversidade.

A análise das métricas da paisagem entre 1985 a 2022 revela mudanças notáveis na sensibilidade ecológica e na configuração territorial das bacias hidrográficas, com importantes implicações para a conservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais. As estatísticas das métricas da paisagem no resultado da análise hierárquica apresentaram os seguintes valores médios e máximos:

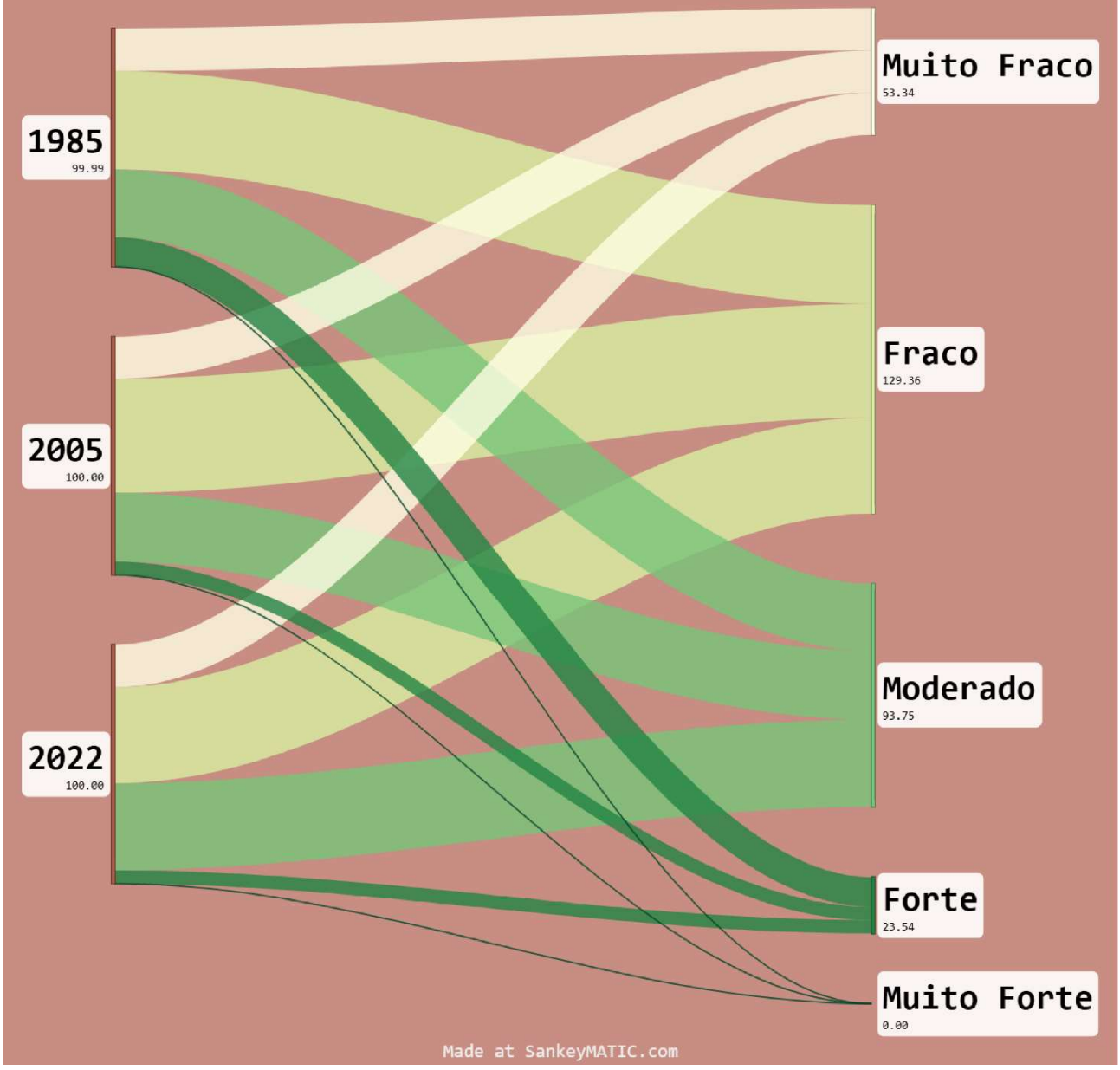
- Em 1985, a média foi de 0,34 e o máximo de 0,61;
- Em 2005, a média foi de 0,32 e o máximo de 0,66;
- Em 2022, a média foi de 0,33 e o máximo de 0,63.

Esses valores indicam uma baixa presença de áreas com sensibilidade ecológica forte (0,6 a 0,8) e a ausência de áreas com sensibilidade muito forte (0,8 a 1,0) ao longo do período analisado (Figura 6). A ausência de áreas com sensibilidade muito forte é preocupante, pois reflete uma redução na qualidade dos ecossistemas e a perda de áreas com maior potencial para a conservação de biodiversidade. Além disso, a estabilidade nos valores médios sugere dificuldades em aumentar a cobertura de áreas de alta sensibilidade ecológica, possivelmente devido à pressão humana e fragmentação territorial. Outros pontos relevantes incluem:

1. Redução da Paisagem Natural e da Sensibilidade Ecológica: A redução de 19,4% na paisagem natural entre 1985 e 2022 reflete uma degradação ambiental significativa. Esse declínio está associado a uma queda de 33,39% na área de sensibilidade ecológica, equivalente a 882.178,61 hectares, e destaca o impacto da urbanização e da expansão agrícola.

Figura 6 - Dados e Diagrama de Sankey mostrando a transformação das áreas de sensibilidade ecológica ao longo do tempo.

Quantitativos da Sensibilidade Ecológica da Paisagem das Bacias Hidrográficas						
Anos	Área em hectares e porcentagem representativa na paisagem					Total:
	Muito Fraco	Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte	
1985	470646,68	1092776,49	753093,24	325640,58	0	2642156,99
	17,81%	41,36%	28,50%	12,32%	0,00%	100,00%
2005	389028,82	1054856,98	636964,44	124128,09	0	2204978,33
	17,64%	47,84%	28,89%	5,63%	0,00%	100,00%
2022	314878,04	706839,55	639908,72	98352,07	0	1759978,38
	17,891%	40,16%	36,36%	5,59%	0,00%	100,00%



Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

2. Estabilidade da Sensibilidade "Muito Fraco": A categoria de sensibilidade "Muito Fraco" manteve-se relativamente estável ao longo do período analisado, com uma ligeira variação de 17,81% em 1985 para 17,891% em 2022, indicando áreas consistentemente menos sensíveis, possivelmente devido à baixa cobertura vegetal.
3. Predomínio de Sensibilidade Fraca: A categoria "Fraco" foi a mais predominante nos três anos analisados, correspondendo a 41,36% da paisagem em 1985 e aumentando para 47,84% em 2005, antes de reduzir para 40,16% em 2022. A perda de 348.017,43 hectares nessa categoria de 2005 para 2022, destaca a vulnerabilidade dessas áreas às mudanças antrópicas.
4. Mudança na Sensibilidade "Moderado": O aumento da categoria "Moderado" de 28,50% em 1985 para 36,36% em 2022 sugere uma possível transição de áreas anteriormente classificadas como de sensibilidade "Forte" para "Moderado", indicando uma degradação gradual das qualidades ecológicas dessas áreas. Esse crescimento também pode ser atribuído a políticas de manejo sustentável que visam mitigar a degradação ambiental.
5. Diminuição da Sensibilidade "Forte": A categoria "Forte" sofreu uma redução significativa, passando de 12,32% da paisagem em 1985 para 5,59% em 2022, representando uma perda de 227.288,51 hectares. Essa diminuição é preocupante, pois implica uma redução nas áreas de sensibilidade ecológica, fundamentais para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos.
6. Ausência de Sensibilidade "Muito Forte": Em todos os anos analisados, não foram registradas áreas classificadas como de sensibilidade "Muito Forte". Isso indica a ausência de áreas com sensibilidade ecológica extremamente alta nas bacias hidrográficas avaliadas, o que pode ser um indicativo da necessidade de medidas de conservação mais rigorosas para proteger os habitats críticos e as áreas de alta biodiversidade.

A análise da mudança espacial das áreas de sensibilidade “Moderado” e "Forte" ao longo do tempo revela padrões significativos que refletem tanto a dinâmica natural quanto os impactos das atividades humanas na paisagem. A localização dessas áreas ao longo dos anos pode ser interpretada como uma resposta tanto a processos naturais (como mudanças na vegetação, uso do solo e topografia) quanto à pressão humana (como desmatamento, urbanização e agricultura). A seguir, um resumo da evolução dessas áreas nos mapas:

I. 1985: Em 1985, as áreas classificadas como "Moderado" e " Forte" estavam predominantemente localizadas ao sul da área de estudo, associadas à formação campestre local e à transição de declividade entre o planalto meridional e a depressão central. Essa região

era provavelmente caracterizada por uma vegetação nativa mais bem preservada, com menos intervenções humanas, o que conferia maior sensibilidade ecológica.

II. 2005: Em 2005, as áreas ao sul perderam seu valor de sensibilidade ecológica mais elevado, o que pode ser um reflexo de degradação ambiental causada por atividades agrícolas. No entanto, áreas a oeste passaram a apresentar manchas de forte sensibilidade, provavelmente relacionadas a remanescentes de formação campestre que, apesar da pressão, ainda apresentavam boa cobertura vegetal e ecossistemas mais resilientes.

III. 2022: As áreas de sensibilidade "Moderado" e "Forte" estão localizadas ao sudoeste, se expressando em duas manchas bem menores do que haviam sido identificadas em 2005. No centro, áreas de sensibilidade forte começam a aparecer timidamente associadas à formação florestal consolidada, possivelmente devido à declividade da topografia local e ao abandono da agricultura em locais de difíceis condições pela topografia, o que favoreceu a conservação da vegetação nativa e o aumento da biodiversidade.

IV. Fragmentação e Dispersão: A fragmentação das áreas de maior sensibilidade ecológica, que se tornaram recortadas e dispersas ao longo do tempo, é um ponto de preocupação, pois reduz a conectividade ecológica e pode dificultar a mobilidade da fauna, a recuperação dos ecossistemas e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. A perda de conectividade reflete a necessidade de estratégias de conservação para mitigar esses impactos.

As mudanças na localização e fragmentação das áreas de sensibilidade ecológica destacam a necessidade urgente de implementar estratégias de conservação e restauração. A criação de corredores ecológicos é fundamental para reconectar áreas fragmentadas, facilitando a regeneração natural e mitigando impactos ambientais, como erosão e perda de biodiversidade. A predominância de áreas com sensibilidade classificada como fraca e muito fraca aponta para uma paisagem mais vulnerável e menos resiliente, exigindo intervenções focadas em restauração ecológica e manejo sustentável. Em resumo, a degradação e fragmentação das áreas mais sensíveis reforçam a urgência de políticas de conservação eficazes, principalmente, com a recuperação de áreas degradadas e uma gestão integrada dos recursos hídricos, a fim de garantir a sustentabilidade dos ecossistemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada e a aplicação da metodologia proporcionaram uma compreensão aprofundada das dinâmicas das paisagens naturais e antrópicas ao longo do tempo no território estudado. A identificação das áreas de sensibilidade ecológica em cinco níveis foi essencial para

destacar regiões que demandam atenção urgente, seja para preservação ambiental imediata, restrições de uso ou apropriação sustentável para atividades humanas.

As transformações observadas nas bacias hidrográficas do Baixo Jacuí, Pardo e Vacacaí-Vacacaí Mirim evidenciam uma conversão significativa da paisagem natural para usos antropogênicos, como a expansão agrícola e a silvicultura. Esta mudança resultou na redução de 19,4% da vegetação natural e em uma queda expressiva nas áreas de sensibilidade ecológica classificadas como "Moderado" e "Forte", além da ausência de áreas "Muito Forte". Essas categorias são cruciais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, e sua fragmentação compromete a conectividade ecológica, dificultando a mobilidade da fauna e a integridade dos ecossistemas.

Observou-se uma disparidade marcante entre as áreas naturais e antropogênicas, especialmente ao norte da região e nas proximidades dos recursos hídricos. A escassa presença de áreas de alta sensibilidade ecológica é preocupante, mesmo em regiões com iniciativas de proteção ambiental, como o Corredor Ecológico da Quarta Colônia e a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Essa situação ressalta a necessidade de comparar os resultados obtidos com as delimitações dessas áreas protegidas para oferecer uma visão mais integrada e detalhada, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de gestão e planejamento territorial.

Diante das transformações observadas, a implementação de medidas de conservação, restauração e manejo sustentável é essencial. A criação de corredores ecológicos é fundamental para reconectar áreas fragmentadas, promovendo a regeneração natural e a continuidade dos processos ecológicos. Além disso, a preservação de formações florestais consolidadas e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para reverter a degradação ambiental, garantindo a sustentabilidade dos recursos naturais e a qualidade de vida das comunidades locais.

A implementação de políticas de gestão integrada e o fortalecimento de iniciativas de conservação podem contribuir significativamente para a proteção dos ecossistemas e a promoção de um uso mais sustentável do território. A continuidade dessas ações é vital para assegurar a resiliência das paisagens e a conservação da biodiversidade a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

BOTEQUILHA-LEITÃO, A.; RIBEIRO, S. C.. Análise de Padrões. *In*: RIBEIRO, S. M. C.; BOSCOLO, D.; CIOCHETTI, G.; FIRMINO, A.; GUIOMAR, N. [org.]. **Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro:** volume 1. Curitiba: Appris, 2021. p.222-263.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Geomorfologia**. 2 ed.. São Paulo: Edgard Blücher; 1980.

CIOCHETTI, G. *et al.* **Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-brasileiro**. Curitiba: Appris, 2021. v. 1.

COCCO, R. M. **Espaços livres públicos potenciais para o lazer e a recreação da cidade de Santa Maria, RS.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, RS, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/21289/DIS_PPGAUP_2020_COCCO_RENATA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. John Wiley & Sons, 1986.

FORMAN, Richard Townsend Turner. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. New York: Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, R. T. T.; COLLINGE, S.K.. T**he "mosaic" concept in landscape ecology**. *In:* SANDERSON, J.; HARRIS, L. D. (Eds.), Landscape Ecology: A Top Down Approach. Lewis Publishers, 1996.

FORMAN, R. T. T.. **Mosaico territorial para la región metropolitana de Barcelona**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2004.

FORMAN, R. T. T. **Urban Regions: Ecology and Planning Beyond the City**. New York: Cambridge University Press, 2008.

FREIRE, M. C.; RAMOS, I. J.; CABECINHA, E.; FARIA, S.; GUIOMAR, N.. Corredores Ecológicos. *In*: RIBEIRO, S. M. C.; BOSCOLO, D.; CIOCHETTI, G.; FIRMINO, A.; GUIOMAR, N. [org.]. **Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro: volume 2.** Curitiba: Appris, 2021. p.137-166.

FERNANDES, J. P. A. Escala em Ecologia da Paisagem. *In*: RIBEIRO, S. M. C.; BOSCOLO, D.; CIOCHETTI, G.; FIRMINO, A.; GUIOMAR, N. [org.]. **Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro:** volume 1**.** Curitiba: Appris, 2021. p.59-82.

GUIOMAR, N.; FARIA, S.; GODINHO, S.; MACHADO, R.; BOSCOLO, D.. Dinâmicas e Evolução da Paisagem. *In*: RIBEIRO, S. M. C.; BOSCOLO, D.; CIOCHETTI, G.; FIRMINO, A.; GUIOMAR, N. [org.]. **Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro: volume 1.** Curitiba: Appris, 2021. p.113-150.

HAINES-YOUNG, R.; CHOPPING, M. Quantifying landscape structure: A review of landscape indices and their application to forested landscapes. **Progress in Physical Geography**, 20(4), 418-

445, 1996. doi:10.1177/030913339602000403. Disponível em: https://www.nottingham.ac.uk/cem/pdf/Haines-Young_Chopping_1996.pdf.

MENEGUETTI, K. S. **De cidade-jardim a cidade sustentável:** potencialidades para uma estrutura ecológica urbana em Maringá-PR. São Paulo: USP, 2007. Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem em SIG**. 1 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2009.

LUCA, V., SANTIAGO, A. G. **Avaliação do caráter da paisagem: abordagens européias**. Paisagem E Ambiente, (36), 2015, 37-46. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/97437/109827.

RAGONHA, J.; SCHENK, L. B. M. **Planejar com a Paisagem: contatos históricos e perspectivas contemporâneas.** Oculum Ensaios, [S. l.], v. 19, p. 1–16, 2022. DOI: 10.24220/2318-0919v19e2022a4971. Disponível em: https://periodicos.puc-campinas.edu.br/oculum/article/view/4971.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil.** São Paulo: Edusp, 1994.

ROSS, J. L. S. O Conceito de Paisagem e as Paisagens Brasileiras. **Revista do Departamento de Geografia**, 15, 2004.

ROSS, J. L. S. **Sistemas de Informações Geográficas:** Aplicações na Geografia Humana. São Paulo: Contexto, 2009

Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Dados Gerais das Bacias Hidrográficas. GOVRS**. Disponível em: https://sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas.

SAATY, T. L. **The Analystic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation.** New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

TARDIN, R. **Ordenação sistêmica da paisagem: uma aproximação metodológica**. *In:* TARDIN, R. Análise, ordenação e projeto da paisagem: uma abordagem sistêmica. Rio de Janeiro: Rio Books, 2018. p. 163-237.

TROMBETA, L. R., Garcia, R. M., Nunes, R. S., Gouveia, I. C. M. C., Leal, A. C., & Gouveia, J. M. C.. **Análise da Fragilidade Potencial e Emergente do Relevo da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil.** Caderno Prudentino De Geografia, 1(36), 159–173, 2014. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3178.

TURNER, M. G., GARDNER, R. H., & O'Neill, R. V. **Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process**. Springer, 2001.

VOLOTÃO, C. F. S. **Métricas do Fragstats.** Trabalho de Análise Espacial do Curso de Mestrado do INPE, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/trabalhos/fragstats.pdf.

WEISS, R.; PIPPI, L. G. A. **Análise multicritério na definição de vulnerabilidade ambiental.** Terr@ Plural, *[S. l.]*, v. 13, n. 3, p. 272–295, 2019. Disponível em: https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/13438.

WU, J. **Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations.** Landscape Ecology, 19(2), 125-138, 2004. doi:10.1023/B:LAND.0000021717.60708.47. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/B:LAND.0000021711.40074.ae.

WU, J. **Landscape Ecology, Cross-Fertilization, and the Scientific Basis for Sustainability.** Landscape Ecology, 23(8), 1117–1120, 2008.

DOI Zenodo: 10.5281/zenodo.15098327
Recebido em: 29/01/2024
Aceito em: 21/01/2025