

NILZO IVO LADWIG
THAISE SUTIL
DANRLEI DE CONTO
(Organizadores)

PAISAGEM E TERRITÓRIO NO GEOPROCESSAMENTO

Atena
Editora
Ano 2022



**NILZO IVO LADWIG
THAISE SUTIL
DANRLEI DE CONTO
(Organizadores)**

PAISAGEM E TERRITÓRIO NO GEOPROCESSAMENTO

Atena
Editora
Ano 2022



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Carneiro – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Ana Maria Aguiar Frias – Universidade de Évora

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa



Atena
Editora
Ano 2022

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
 Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
 Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
 Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadilson Marinho da Silva – Secretaria de Educação de Pernambuco
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
 Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal do Paraná
 Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Profª Drª Lucicleia Barreto Queiroz – Universidade Federal do Acre
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Universidade do Estado de Minas Gerais
 Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Profª Drª Marianne Sousa Barbosa – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pedro Henrique Máximo Pereira – Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
 Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins



Paisagem e território no geoprocessamento

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Nilzo Ivo Ladwig
Thaise Sutil
Danrlei De Conto

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
P149	Paisagem e território no geoprocessamento / Organizadores Nilzo Ivo Ladwig, Thaise Sutil, Danrlei De Conto. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0550-4 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.504221609 1. Geografia política. 2. Território. 3. Paisagem. I. Ladwig, Nilzo Ivo (Organizador). II. Sutil, Thaise (Organizadora). III. Conto, Danrlei De (Organizador). IV. Título. CDD 320.12
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



CAPÍTULO 2

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE (APASUL-RMBH) COM AUXÍLIO DE MÉTRICAS DE PAISAGEM

Danilo Marques de Magalhães

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Daniel Lucas Costa e Silva

Bacharel em Geografia pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH

RESUMO: O trabalho propõe a análise do grau de integridade dos fragmentos florestais da APA-SUL-RMBH por meio de métricas de paisagem. Foi realizada uma avaliação multitemporal, com intervalo de 25 anos de análise, com intuito de discutir a alteração na estrutura e na dinâmica da paisagem. Para isso, os fragmentos florestais foram mapeados por meio do NDVI a partir de imagens do satélite LandSat e os resultados foram analisados com Métricas de Paisagem utilizando-se o software Fragstats. É proposta a realização de uma síntese de diferentes métricas por meio da Análise de Multicritérios e os resultados representam o grau de integridade dos fragmentos florestais, que está relacionado às condições ecológicas desses fragmentos. Os resultados foram gerados para 6 datas, de 1992 a 2017, e permitem observar a redução da cobertura florestal, o aumento do isolamento dos fragmentos, o aumento do grau de fragmentação e do efeito de borda, bem como outros processos relacionados. A área de estudo é marcada por uma grande complexidade de usos e por diversos conflitos de interesses, sendo presentes as atividades minerárias, o capital imobiliário, as belezas cênicas e

os mananciais de captação de água para abastecimento de parte da população da RMBH. Os resultados podem auxiliar na avaliação da dinâmica da paisagem e contribuir como base para o planejamento e gestão do uso sustentável nessa Unidade de Conservação.

PALAVRAS-CHAVE: Métricas de Paisagem; Ecologia da Paisagem; Sensoriamento Remoto; Geoprocessamento; Planejamento Territorial.

1 | INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte / MG (APASUL-RMBH) está localizada em uma zona onde é evidente o conflito de interesses no uso da terra. A APA se insere numa região conhecida como Quadrilátero Ferrífero (QFe) que recebe este nome em função da presença de litologias com elevada concentração de minerais ferrosos que, dada a sua maior resistência aos processos de intemperismo e de erosão, hoje conformam as cristas das serras que delineiam a paisagem (BARBOSA; RODRIGUES, 1967; CAMARGOS, 2004). Além da conhecida relevância geológica e econômica, a APA está no eixo sul de expansão urbana da capital de Minas Gerais onde é marcante a presença de condomínios de casas e de torres de edifícios de alto padrão que atende ao desejo das populações mais abastadas da RMBH por uma melhor qualidade de vida a partir de uma proximidade com

espaços de natureza ainda preservada (LASCHEFSKI; COSTA, 2008).

As características geológicas e geomorfológicas condicionam, também, o sistema hídrico da região que abriga um conjunto de nascentes e cabeceiras de drenagens estabelecidas sobre cangas lateríticas que conformam importantes bacias hidrográficas do estado e que são responsáveis pelo abastecimento de, aproximadamente, 2,5 milhões de habitantes da RMBH, o que corresponde a 40 % do sistema integrado de abastecimento que é controlado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA (ARSAE-MG, 2013). Na região da bacia do Rio das Velhas, onde se localiza a APASUL, água captada é destinada para o abastecimento público (22%), atividades minerárias (38%), irrigação (35%) e demais usos (5%) (CBH VELHAS, 2019).

Vale mencionar ainda que as serras e vales dessa região são símbolos dotados de valores históricos e culturais relevantes para o estado e para o país, pois são marcos na paisagem que guiavam tropeiros e bandeirantes, exploradores da terra no ciclo do ouro no período colonial brasileiro, que se orientavam pelos picos e formações rochosas de destaque e, ao longo dos trajetos, estabeleceram diversos povoados e centros comerciais existentes ainda hoje (PIUZANA et al., 2011).

Em meio a esse intrincado conjunto de características e seus conflitos inerentes, em 1994, foi criada a APASUL-RMBH com o objetivo de

proteger e conservar os sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e áreas adjacentes, com vista à melhoria de qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentado (MINAS GERAIS, 1994, p. 1).

A partir da Rio 92 cresce o debate acerca da relação entre atividades antrópicas e a conservação da biodiversidade e as Unidades de Conservação (UC) de Uso Sustentável surgem como uma tentativa de conciliar esses interesses conflitantes (MARTINS, 2012). Mas é somente em 2000, com a publicação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) que é criada a categoria de Uso Sustentável para as UCs (BRASIL, 2000). Entretanto, a experiência ao longo dos anos vem mostrando as complexidades e impossibilidades de gestão dessas áreas, que vão desde a falta de interesse e recursos públicos para efetivar um plano de manejo das áreas, até os interesses do capital privado em explorar os locais em que há interesses econômicos (CAMARGOS, 2004).

Vale mencionar, ainda, que a posição geográfica aliada às características geomorfológicas dessa região faz com que ela atue como uma zona de transição entre os biomas da mata atlântica (Leste) e do cerrado (Oeste), sendo identificados endemismos de fauna e flora condicionados pelas características geográficas peculiares (CARMO, 2010). Isso reforça a noção da relevância ambiental da APA e, conseqüentemente, a preocupação para com a perceptível alteração da paisagem nas últimas décadas que ocorre em função,

principalmente, da expansão das atividades minerárias e da abertura de novos loteamentos (DINIZ et al., 2014).

Diante desse complexo cenário e da carência de um zoneamento da APA que possa servir de base para o desenho de planos para essa paisagem, é proposto neste estudo uma metodologia para identificação do grau de alteração dos fragmentos florestais a partir de conceitos e métodos baseados na Ecologia da Paisagem. Acredita-se que esses dados possam auxiliar na compreensão do grau de integridade florestal, que está relacionada com os processos ecológicos relacionados e, com isso, orientar ações de conservação e manejo dentro da APA.

2 | ECOLOGIA DA PAISAGEM

Forman e Gordon (1896) definem Ecologia da Paisagem como o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos. A *estrutura* está relacionada às relações espaciais entre ecossistemas distintos, ou seja, à distribuição de energia, matérias e espécies em relação ao tamanho, formas, quantidades, tipos e configurações de seus componentes. A *função* se refere à interação entre elementos espaciais, ou seja, o fluxo de energia, matérias e organismo entre os ecossistemas componentes. Já a *dinâmica* se refere à alteração na estrutura e na função do mosaico ecológico através do tempo (TURNER; GARDNER, 1991).

A análise desses elementos busca fornecer subsídios para a compreensão da dinâmica de uma paisagem e busca aliar o conhecimento ecológico, centrado no funcionamento dos ecossistemas, com a noção de que as relações espaciais (geográficas) condicionam diversos processos associados. Nesse sentido, a paisagem é interpretada como um sistema onde as partes constituintes estão em constante interação e, portanto, a alteração de sua estrutura pode interromper toda uma cadeia de fluxos genéticos e causar diversos impactos ambientais negativos (TURNER, 1989; METZGER, 2001; MAGALHÃES, 2013).

Metzger (2001) discute que existem duas principais vertentes dentro da Ecologia da Paisagem: uma que trata de uma *Ecologia Humana de Paisagens*, onde a paisagem é entendida como fruto da interação entre sociedade e natureza e o foco das análises está nas interações do homem com o ambiente; e a outra seria uma *Ecologia Espacial de Paisagens*, cujos estudos buscam analisar as relações e implicações do padrão espacial dos fragmentos de paisagem nos processos ecológicos. Esta vertente é aquela que, particularmente, influencia as análises que são apresentadas no presente estudo. Nos interessa analisar os padrões espaciais dos fragmentos de vegetação, ou seja, sua forma, tamanho, posição, distância e dispersão, como base para discussão acerca do seu grau de alteração. Metzger (2001) destaca a relevância dos estudos em Ecologia da Paisagem

que lidam com mosaicos antropizados, pois podem gerar bases para compreensão das mudanças estruturais, e, portanto, funcionais, nas paisagens levando em consideração a teia de inter-relações espaciais de seus componentes, o que seria uma perspectiva adequada para mitigação de problemas ambientais.

Lang e Blaschke (2009, p. 16) afirmam que as “características estruturais da paisagem são observáveis, descritíveis e quantificáveis”. Isso porque as “estruturas da paisagem resultam do fato de a esfera da paisagem estar dividida em combinações específicas, espacialmente variáveis, de determinadas feições dos diferentes compartimentos” (ib.id., p. 107). Afirmam ainda que o conhecimento da estrutura da paisagem permite estudar as relações de interdependência entre as unidades vizinhas como condicionantes aos processos ecológicos.

2.1 Métricas de paisagem

As Medidas de Estruturação da Paisagem ou Métricas de Paisagem foram criadas como o objetivo de caracterizar uma paisagem a partir da forma, tamanho, quantidade e dispersão geográfica dos fragmentos que a compõe. Essas informações se tornaram bases para a discussão sobre as funções desempenhadas pelos elementos da paisagem, bem como para o acompanhamento das transformações temporais. Tornou-se possível identificar padrões e, sobretudo, determinar quais padrões são desejáveis em determinadas paisagens, o que contribui efetivamente para o monitoramento e planejamento de paisagens (FORMAN; GORDON, 1986; TURNER; GARDNER, 1991; HAINES-YOUNG; GREEN; COUSINS, 1993; LANG; BLASCHKE, 2009; MAGALHÃES, 2013).

Na busca pela identificação do grau de alteração dos fragmentos florestais, como proposto neste estudo, pode-se mensurar a área dos fragmentos de vegetação e hierarquiza-los em relação à melhor ou pior condição ambiental. Além disso, pode-se utilizar medidas para análise da forma dos fragmentos e atribuir relevância ambiental a fragmentos que, mesmo que possuam áreas menores, tenham formatos lineares e, assim, favoreçam à conexão entre dois ou mais fragmentos isolados. Entende-se que esse conjunto de medidas de estrutura da paisagem pode nos auxiliar a interpretar a dinâmica da paisagem e, a partir disso, propor um sistema de unidades de conservação e corredores ecológicos (MAGALHÃES, 2013).

É importante frisar que o trabalho com Métricas de Paisagem vai além dos cálculos de áreas e perímetros dos fragmentos. A partir desses dados iniciais é possível gerar uma infinidade de cálculos sobre a morfologia dos elementos que, também, podem responder por processos ecológicos relacionados. É o caso, por exemplo, do cálculo da *Área Núcleo*. Essa medida pode ser explicada, sucintamente, como uma região no interior de um fragmento isenta da influência dos fatores externos. Contrário à área núcleo tem-se a *Borda*, que pode ser entendida como a zona limítrofe de um fragmento onde existe o

contato das ações externas com as internas. A borda de um fragmento florestal é entendida como uma zona de transição entre os ambientes, o que é considerado prejudicial para organismos mais sensíveis. Já a área núcleo pode ser interpretada como uma região com habitat possivelmente utilizável por essas espécies sensíveis à borda (LANG; BLASCHKE, 2009).

Pode-se dizer que as Métricas de Paisagem fornecem possibilidades para diagnosticar e comparar as mais diversas paisagens e com isso contribuem para prever determinados impactos que uma alteração na estrutura da paisagem pode causar. Esses resultados vêm sendo incorporados às pesquisas ambientais, sobretudo no auxílio ao monitoramento das transformações ambientais promovidas pela ação antrópica (METZGER, 2001; MAGALHAES, 2013).

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta neste estudo consiste na associação de uma sequência de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), Processamento Digital de Imagens de satélite (PDI), Geoprocessamento, Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Ecologia da Paisagem. Esta metodologia foi, inicialmente, proposta como parte das análises de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) realizado no estado do Pará, região de floresta amazônica. Na ocasião, foram realizados trabalhos de campo para levantamentos de fauna e flora e os dados coletados balizaram e corroboraram os resultados encontrados com as técnicas que são aqui apresentadas. Entretanto, os resultados não puderam ser publicados em virtude do contrato de confidencialidade.

Portanto, o presente estudo replica a metodologia outrora desenvolvida aplicando-a, agora, para avaliação do grau de alteração dos fragmentos florestais da APASUL-RMBH. À proposta inicial, foi acrescida a avaliação multitemporal que tem por objetivo acompanhar as alterações dos fragmentos florestais para discutir se houve um prejuízo ambiental significativo no período analisado.

3.2 Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto

Para este estudo de caso, foi adotado o intervalo temporal total de 25 anos, sendo utilizadas imagens coletadas a cada 5 anos, aproximadamente, iniciando-se no ano de 1992, data anterior à criação da APA, até 2017. Foram utilizadas imagens do satélite LandSat-5 (TM) para os anos de 1992, 1997, 2001 e 2007, e imagens do satélite LandSat-8 (OLI) para os anos de 2013 e 2017. Todas as imagens utilizadas foram capturadas no período do inverno, que corresponde à estação seca na região, entre os meses de julho e setembro.

Inicialmente foi realizada a correção atmosféricas das imagens com auxílio do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) disponível no software QGIS visando remover as interferências atmosféricas observadas nas imagens que variam ao longo dos anos. Tal procedimento é essencial para viabilizar uma correta identificação dos elementos presentes na superfície terrestre, bem como para viabilizar análises multitemporais (OUADRARI; VERMOTE, 1999; LIANG et al., 2001). De posse das imagens corrigidas, foi realizada o reescalonamento das imagens de 16 bits para 8 bits, visando equiparar as imagens do sensor OLI com as do sensor TM.

Para extração dos fragmentos florestais, foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que utiliza as bandas espectrais do infravermelho e da cor vermelha e permite medir o vigor vegetativo, sendo encontrados valores mais altos para as formações florestais em que a vegetação se esteja sadia (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2011). Não foi interesse deste estudo distinguir os diferentes tipos de vegetação, mas sim separar os fragmentos florestais das demais tipologias de uso e cobertura do solo presentes nas imagens. Para este fim, o NDVI se mostrou satisfatório, uma vez que as demais tipologias de uso e cobertura do solo são compostas, basicamente, por áreas não vegetadas (mineração, solo exposto, urbanização), corpos hídricos e campos rupestres ferruginosos, e apresentaram valores de NDVI bastante distintos das formações florestais. Meneses e Almeida (2012) destacam, ainda, que este índice é adequado para análises multitemporais, pois sofre menor influência das condições atmosféricas.

O arquivo NDVI foi reclassificado em um novo raster para geração de uma imagem que apresentava somente as manchas de vegetação. Este resultado, para as seis datas mencionadas, foi recortado dentro dos limites da APA e a base para a avaliação da estrutura da paisagem.

3.3 Métricas de paisagem e análise de multicritérios

O cálculo das métricas de paisagem dos fragmentos de vegetação das seis imagens trabalhadas (1992, 1997, 2001, 2007, 2013 e 2017) foi realizado no software Fragstats 4.2, desenvolvido pela Universidade de Massachusetts (McGARIGAL; CUSHMAN; ENE, 2012). A análise é realizada sobre arquivos matriciais e o software retorna os resultados em forma de tabelas que podem ser associadas a uma camada vetorial para visualização em SIG. Cada uma das métricas pode ser utilizada individualmente para compreensão de algum processo ecológico associado ao fragmento florestal. E diferentes métricas, de alguma forma, nos dão a noção de que há uma melhor ou pior condição ecológica no fragmento de vegetação, que é interpretada de acordo com sua área, efeito de borda, grau de fragmentação (alteração), isolamento e dispersão na paisagem.

Assim, as diferentes métricas utilizadas neste estudo foram selecionadas e interpretadas sob a ótica do grau de integridade do fragmento florestal que é entendido aqui

como a capacidade que esse fragmento possui de abrigar condições ecológicas complexas e bem desenvolvidas. Para tanto, foram utilizadas as seguintes métricas:

- **Área (*Area*)**: é calculada a partir da indicação pelo usuário da resolução espacial da imagem, neste caso 30 m. Assim, é realizada a multiplicação do número total de pixels do fragmento florestal por 900 m², que equivale à área de um pixel da imagem LandSat. É considerada a mais importante medida de estrutura da paisagem e é base para o cálculo de diversas outras métricas (LANG; BLASCHKE, 2009). Neste estudo, os maiores resultados foram interpretados como áreas com melhores condições ecológicas, uma vez que o número potencial de espécies tende a ser mais elevado.
- **Raio de Giro (*Gyrate*)**: é calculado através da média da distância de cada célula do fragmento até o centro médio do mesmo, dessa forma está relacionado tanto ao tamanho do fragmento quanto à sua extensão. Os maiores valores de Raio de Giro são encontrados nos fragmentos florestais com elevados valores de área e, também, grande dispersão espacial. Isso nos dá a noção da abrangência do fragmento, que vai além da capacidade de comportar uma elevada concentração de espécies, o que é entendido de modo positivo. Fragmentos com elevados valores de Raio de Giro poderão fornecer suporte à dispersão e ao trânsito das espécies sem o contato com as áreas externas que são nocivas a espécies mais sensíveis (McGARIGAL; CUSHMAN, ENE, 2012). Essa condição pode favorecer, ainda, à formação de corredores ecológicos e à conectividade entre diferentes fragmentos florestais dentro da UC.
- **Área Núcleo (*Core*)**: consiste no cálculo da área existente no interior de cada fragmento a partir da definição de um distanciamento da borda (ou limite) do fragmento. Neste estudo, foi considerado uma borda de 90 metros (3 pixels da imagem), então, quanto maior a área núcleo do fragmento, maior a área que não sofre influências do efeito de borda. Esse efeito é considerado como prejudicial para algumas espécies de fauna e flora e faz com que esses setores sejam habitados por espécies mais generalistas que são mais resistentes à incidência solar, a um maior acúmulo de particulados (poeiras). Além disso, essas áreas sofrem maiores interferências de ruídos e são mais facilmente acessados por predadores externos (HOLWAY, 2005; LANG; BLASCHKE, 2009). Portanto, os maiores valores de área núcleo nos indicam uma maior integridade do fragmento florestal.
- **Número de Áreas Núcleo (*NCore*)**: é calculado a partir dos mesmos parâmetros da Área Núcleo e, depois, são somadas todas as áreas núcleo existentes em cada fragmento. Os resultados podem ser interpretados de modos distintos, uma vez que uma quantidade maior de áreas núcleo indica um certo grau de fragmentação florestal. Entretanto, as observações empíricas evidenciaram

que os resultados mais elevados estão associados, na maioria das vezes, a grandes fragmentos que apresentam dispersão na paisagem e que podem ser entendidos como importantes reservas de material genético e de habitats para as espécies sem interferência das bordas. Assim, neste estudo, os fragmentos com maior quantidade de áreas núcleo foram interpretados com melhores condições ecológicas, uma vez que possuem potencial para abrigo de espécies e para o estabelecimento de conexões entre diferentes fragmentos.

- **Círculo Circunscrito (*Circle*):** calculado a partir da criação do menor círculo que circunscribe o fragmento e, a partir disso, é realizada a subtração da área do círculo pela área do fragmento. Dessa forma, quanto maior o valor resultante, mais retilíneo e alongado é o fragmento. Consequentemente, será observado nesse fragmento uma alta influência dos fatores externos (efeito de borda), a ausência de áreas nucleares e, portanto, compreende-se que as relações ecológicas sejam menos bem desenvolvidas do que em fragmentos que possuem baixos valores de círculo circunscrito (MAGALHÃES, 2013). Vale destacar que essa métrica pode nos auxiliar a identificar as matas ciliares e matas de galeria e que essas são extremamente relevantes para a conservação dos cursos hídricos, para a formação de corredores ecológicos, dentre outros aspectos. Entretanto, com base no objetivo de avaliar o grau de integridade florestal dentro da paisagem analisada, considera-se que os fragmentos maiores e mais coesos se apresentam como mais relevantes no contexto analisado.
- **Índice de Complexidade da Forma (*Shape Index*):** se baseia na relação Perímetro/Área para avaliar o grau de alteração de uma forma, ou seja, o quão distante de uma forma simples, como um quadrado, o fragmento é. Porém, este índice corrige o problema encontrado no índice “Perímetro/Área” em que fragmentos com altos valores de área terão automaticamente uma baixa relação Perímetro/Área. Esse problema impede que pequenos e grandes fragmentos sejam analisados concomitantemente. A métrica *Shape Index* corrige esse problema considerando o número de células que compõem o fragmento e não apenas o cálculo simples do perímetro. Como resultado, percebe-se que fragmentos com formas mais simples, mais próximas de um quadrado (considerando que a forma básica é um pixel) possuem valores mais baixos. Já os fragmentos com formas mais complexas possuem, por sua vez, valores mais altos (McGARIGAL; CUSHMAN; ENE, 2012; MAGALHÃES, 2013). A análise dos resultados dessa métrica também se baseia na questão relacionada aos efeitos de borda, sendo os fragmentos com formas mais complexas aqueles mais suscetíveis aos fatores externos, logo com piores condições ecológicas. Vale ressaltar que os elevados valores de complexidade de forma nos dão indícios, também, de transformações em curso nos fragmentos florestais.

Todas as métricas aqui apresentadas estão sendo interpretadas conforme as premissas definidas neste estudo e são, em suma, testes propostos visando estabelecer uma análise acerca do grau de integridade dos fragmentos florestais. A interpretação dessas métricas pode variar significativamente de acordo com os objetivos traçados pelo pesquisador e não se espera aqui encerrar as possibilidades de análise das métricas nas formas apresentadas.

Nesse sentido, entende-se que uma opção para se reduzir os erros e a subjetividade desse tipo de análise é a associação de diferentes métricas e, com isso, reduzir o peso de uma métrica isolada. Portanto, ao analisar as métricas de paisagem de maneira integrada, cada uma delas terá o peso de 16,66 % (1/6) na composição do resultado final. Isso pode aumentar a confiabilidade da análise, uma vez que os fragmentos que apresentam melhores condições ecológicas na síntese não estão sendo analisados somente por uma métrica isolada, mas sim, por um conjunto de fatores que se somam para classificar cada um dos fragmentos. Essa associação das métricas é realizada por meio da Análise de Multicritérios.

Uma vez que os resultados de algumas métricas são adimensionais (como *Shape Index*) e outras dimensionais (como *Area*) foi realizado o redimensionamento dos resultados por meio da ferramenta *Rescale by Function* disponível no software ArcGIS visando criar uma escala comum de dados para a realização da síntese por multicritérios. Foi adotada a função linear para conversão dos dados e todos os resultados foram reescalados para um intervalo de 0 a 65535, que corresponde a uma imagem de 16 bits.

Por fim, foi gerada a síntese das métricas de paisagem que buscam indicar o grau de integridade dos fragmentos florestais por meio da Análise de Multicritérios. Moura (2007) explica que esse procedimento consiste no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção da síntese final. O que difere esse método de uma simples álgebra de mapa é o fato de se utilizar a média ponderada para cada plano de informação para a construção do resultado final. Neste estudo, cada uma das métricas foi ponderada com peso de 16,6%, exceto a métrica de Área que ficou com o peso 16,7% por se tratar de uma métrica básica para o cálculo das demais.

Todo esse procedimento foi repetido para cada uma das datas analisadas utilizando-se recursos de automação de rotinas de processamento do software ArcGIS visando dar celeridade ao processo. Os resultados e discussões são apresentados a seguir.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento das manchas de vegetação a partir do NDVI já nos mostra a significativa perda de massa vegetal na área estudada durante o período analisado. É

possível perceber, com base nos mapas (Figura 1 a Figura 6), que há uma redução na quantidade e na área total dos fragmentos dentro da APA. As métricas de paisagem nos auxiliam a analisar os impactos dessa perda de vegetação e da fragmentação dos habitats. Os resultados nos mostram que a estrutura e dinâmica da paisagem verificada para o ano de 1992 foi completamente alterada no período analisado. A remoção da cobertura vegetal criou grandes espaços vazios entre as manchas de vegetação e promoveu um rebaixamento no grau de integridade dos fragmentos florestais para a maioria do conjunto analisado.

Na data inicial de análise (1992) percebe-se que a paisagem contava com dois grandes fragmentos florestais, um a leste e outro central, e diversos outros fragmentos menores dispersos pela área. Ano a ano observa-se a redução da área e o aumento do efeito de borda nessas duas principais manchas de vegetação. Além disso, é visível a redução e até a extinção de fragmentos menores de portes médio e pequeno. Esta situação é notável na porção oeste e sudoeste da APA. É possível perceber a redução de área, da área núcleo e do número de áreas núcleo para a maioria dos fragmentos com destaque para o ano de 2013 (Figura 5), quando o grande fragmento florestal central já não está mais coeso como visto nos anos anteriores. Essas subdivisões indicam a perda da coesão, o aumento do efeito de borda, a redução de áreas núcleo e, como consequência uma piora nas condições ecológicas.

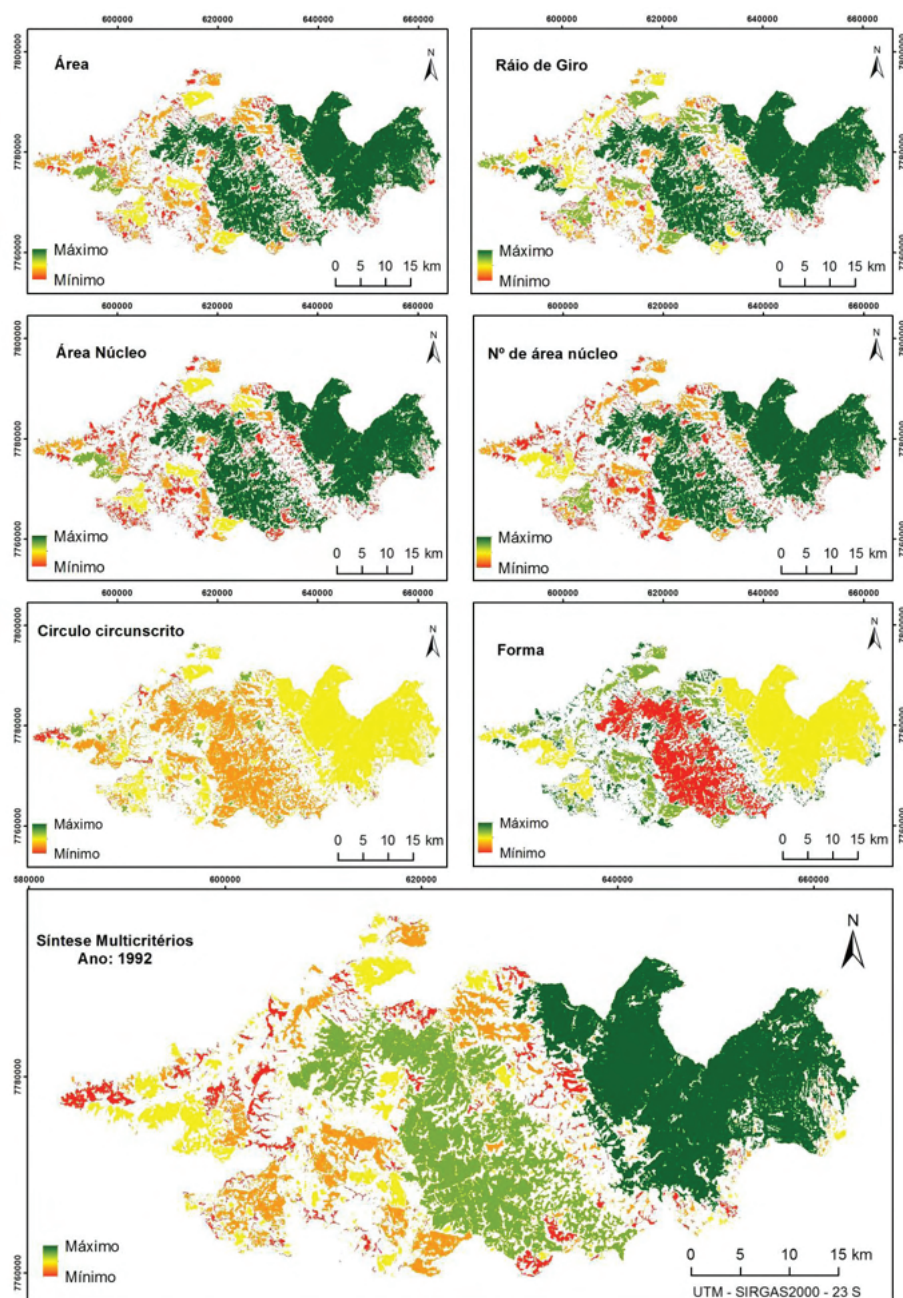


Figura 1 – Métricas analisadas e síntese multicritérios para o ano de 1992.

Fonte: Elaborado pelos autores.

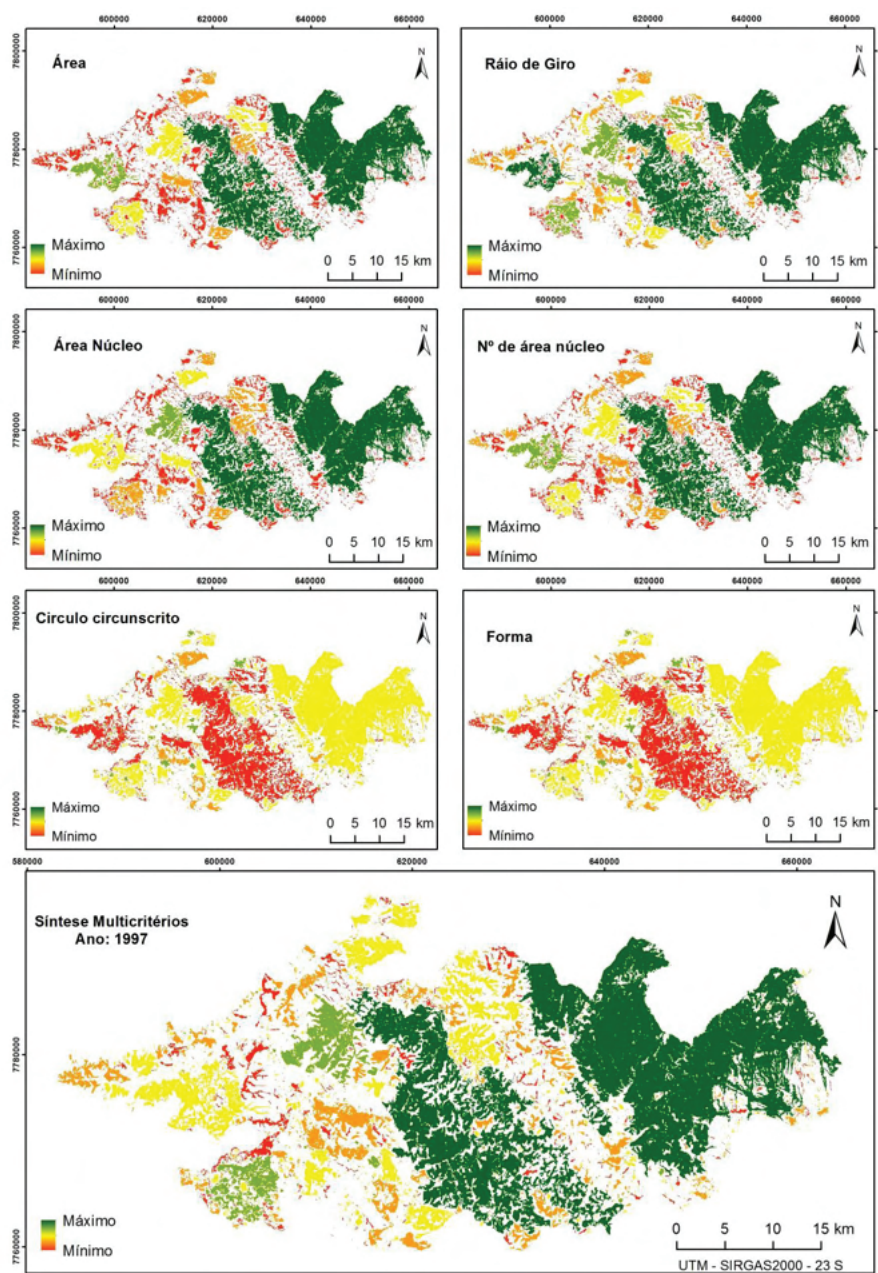


Figura 2 – Métricas analisadas e síntese multicritérios para o ano de 1997.

Fonte: Elaborado pelos autores.

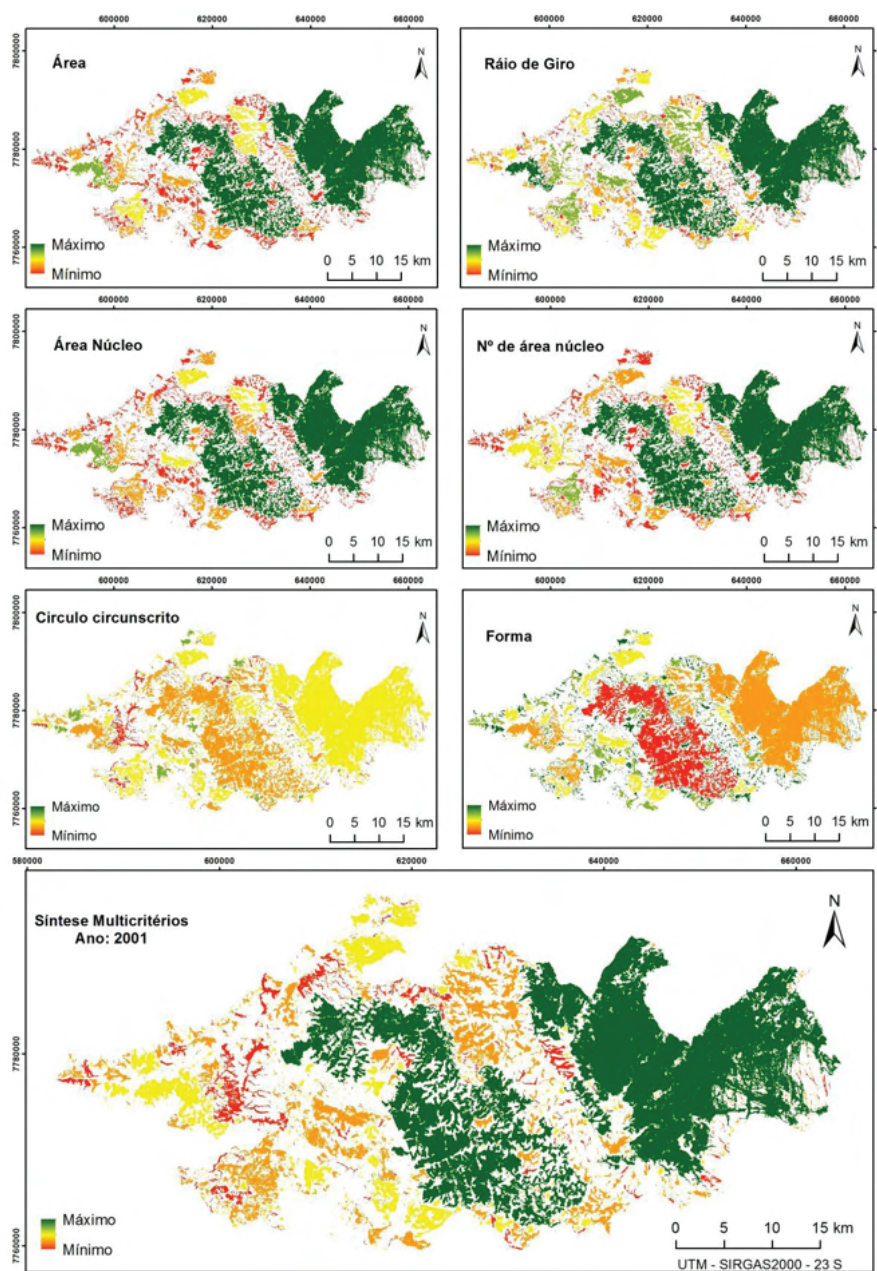


Figura 3 – Métricas analisadas e síntese multicritérios para o ano de 2001.

Fonte: Elaborado pelos autores.

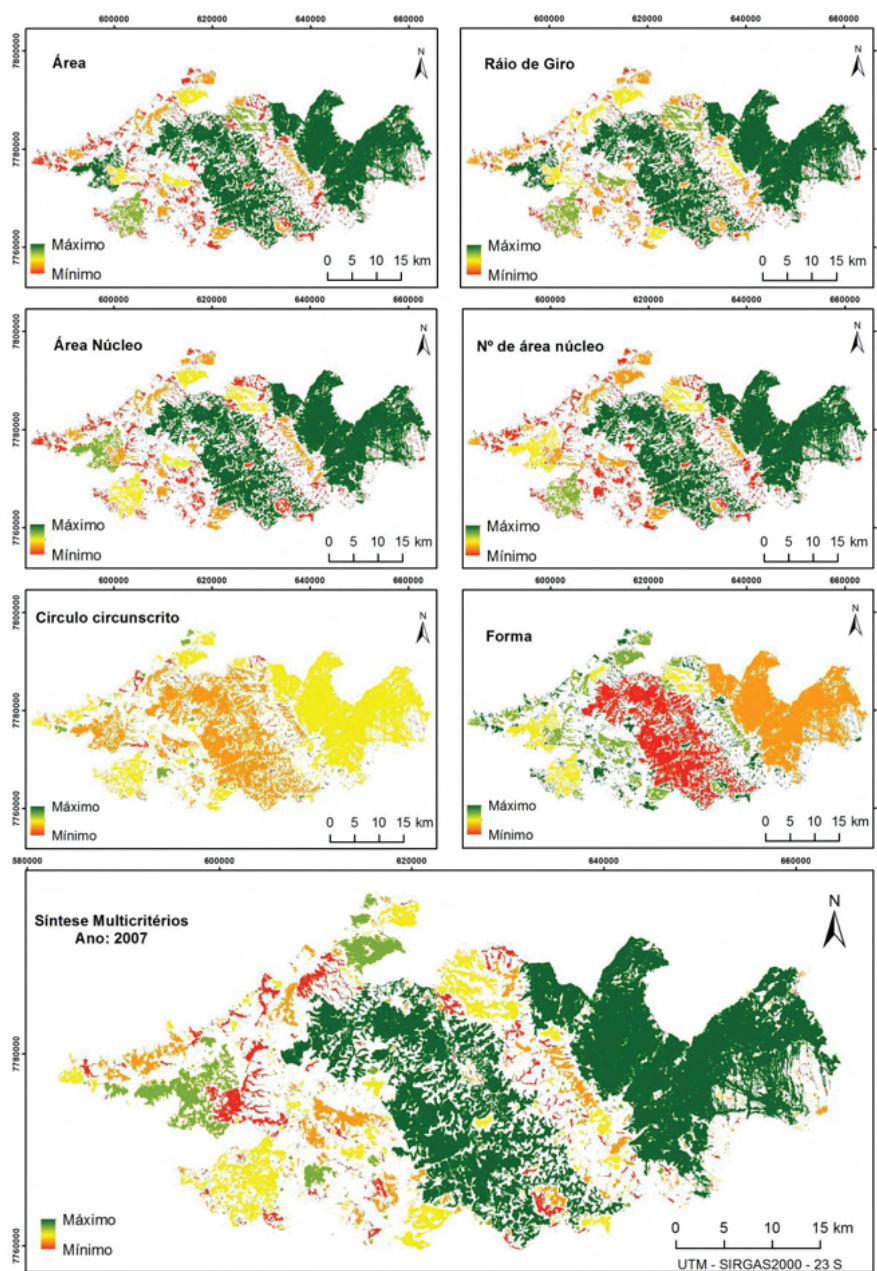


Figura 4 – Métricas analisadas e síntese multicritérios para o ano de 2007.

Fonte: Elaborado pelos autores.

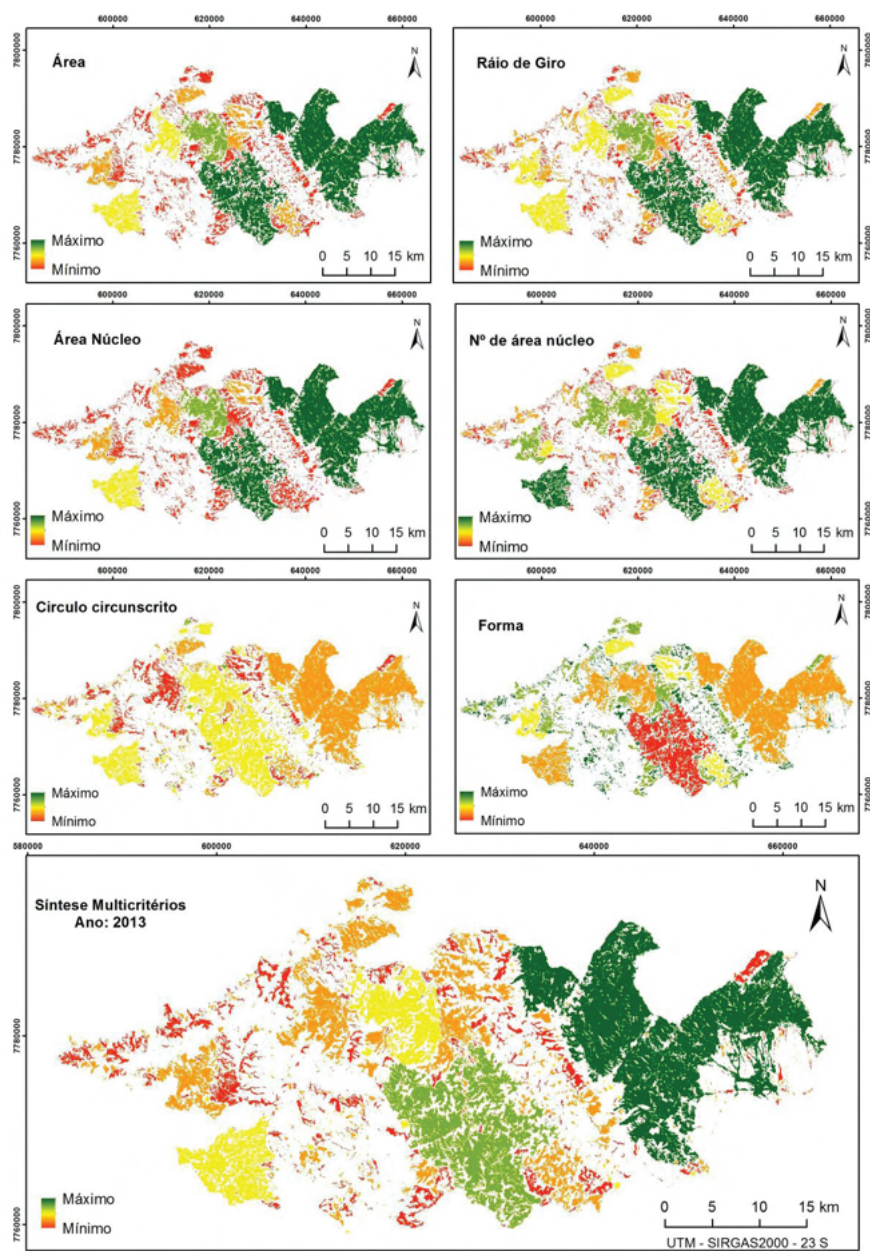


Figura 5 – Métricas analisadas e síntese multicritérios para o ano de 2013.

Fonte: Elaborado pelos autores.

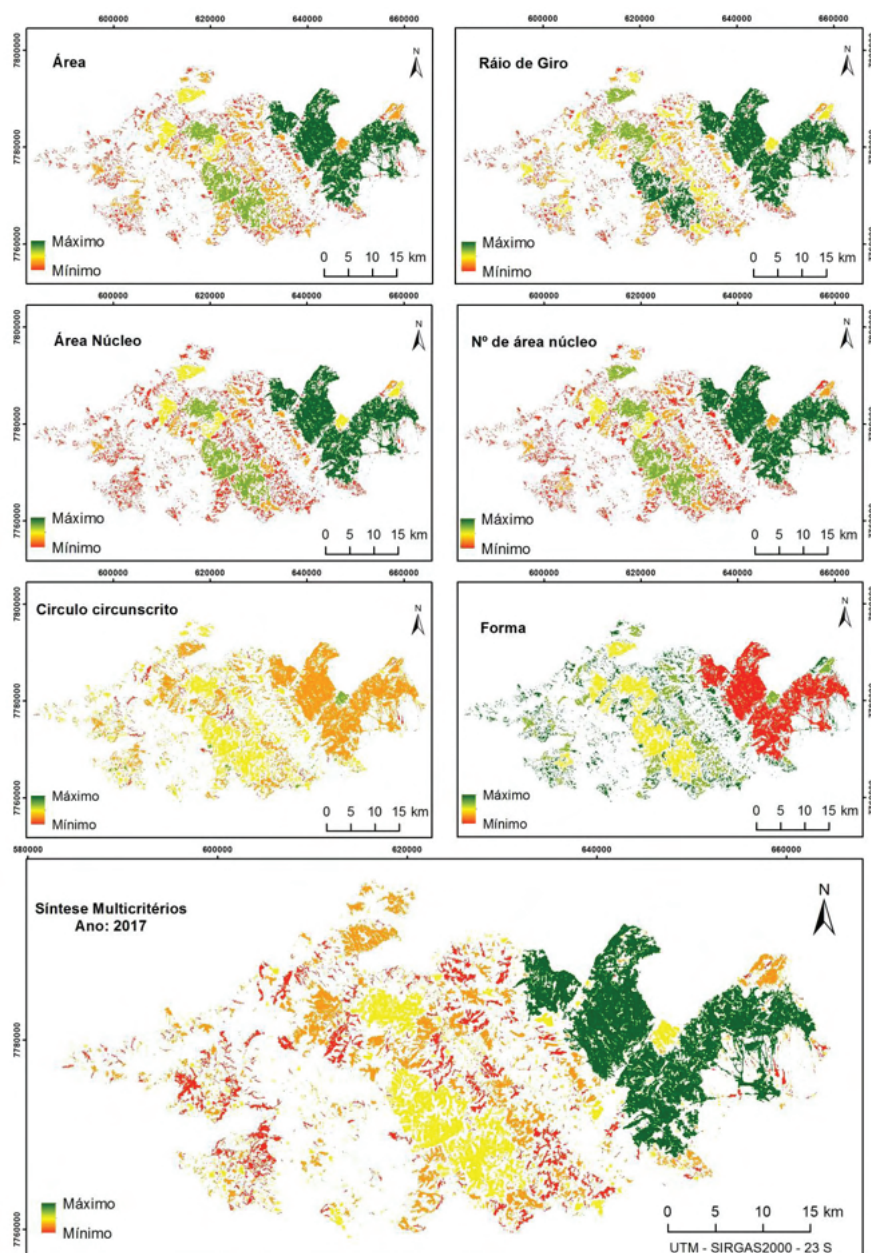


Figura 6 – Métricas analisadas e síntese multicritérios para o ano de 2017.

Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível notar uma piora no Índice de Forma e no Raio de Giro nos fragmentos de porte pequeno a médio localizados na porção sudoeste-oeste da APA, que se torna mais evidente a partir de 2007 (Figura 4). Nessa região estão localizadas as cristas de algumas

das serras com a presença de minerais ferrosos e, portanto, as atividades minerárias. Nos anos subsequentes nota-se a completa extinção de vários fragmentos florestais outrora existentes ali, o que reforça os prejuízos ecológicos gerados pelo isolamento dos fragmentos de vegetação.

É interessante observar que no ano de 2001 (Figura 3) há uma aparente melhora nos resultados das métricas *Gyrate*, *Core* e *NCore* para alguns fragmentos localizados na porção central e oeste da área de estudo. Entretanto é importante lembrar que os resultados apresentam um ranking dos valores, do mínimo ao máximo, e essa melhora relativa não se dá em função de uma melhoria na condição ecológica daqueles fragmentos, mas sim de uma piora dos fragmentos classificados em uma posição superior nos anos anteriores.

As sínteses elaboradas reforçam o que pode ser observado nas métricas individuais: há uma piora na integridade dos fragmentos florestais ao longo dos anos e, sobretudo, a subdivisão de grandes manchas florestais em fragmentos menores, bem como o aumento do isolamento entre áreas dispersas. Essas situações implicam na perda de conectividade entre os fragmentos florestais e no aumento dos efeitos de borda, que são condições prejudiciais aos processos ecológicos relacionados às manchas de vegetação.

Vale lembrar que essa é uma região de cabeceiras de drenagem e que as formações vegetacionais auxiliam na manutenção da oferta hídrica em termos de qualidade e volume. Além disso, são conhecidos os endemismos de fauna e flora e que a fragmentação dos habitats pode levar à extinção de espécies.

5 | CONCLUSÕES

A evolução temporal evidencia a necessidade de se adotar estratégias para manutenção da conectividade da paisagem na APASUL-RMBH, pois são notáveis a redução da quantidade de áreas florestadas e o surgimento de lacunas entre os fragmentos de Leste e de Oeste na área analisada. Isso leva a um isolamento das áreas remanescentes, à perda de conectividade e compromete a existência de espécies de fauna e flora.

Vale mencionar que os pequenos fragmentos florestais, embora menos expressivos em termos de área do que os demais, podem desempenhar importante função de pontos de suporte para a fauna e conectividade para a flora nativa e podem ser indicados como parte de uma estratégia de criação de corredores ecológicos nessa área.

A utilização das métricas de paisagem nos permitem observar características dos fragmentos de vegetação que não são imediatamente observadas por meio do seu simples mapeamento, como no caso do número de áreas núcleo e das métricas de forma. As métricas, se utilizadas individualmente, já fornecem um grande volume de informações acerca da estrutura e dinâmica da paisagem que podem ser utilizadas como base para a discussões

ligadas à Ecologia de Paisagem. Contudo, acredita-se que a síntese de diferentes métricas contribuir para um olhar geográfico da condição dos fragmentos florestais, não verticalizando em processos ecológicos específicos, mas analisando a estrutura dos elementos que compõem a paisagem de uma maneira mais geral. Nesse sentido, a metodologia proposta pode favorecer à difusão dessas técnicas a profissionais de áreas correlatas à Ecologia, abrindo outras possibilidades para interpretação dos resultados. Vale mencionar que todo o procedimento metodológico é passível de ser realizado com softwares e dados livres e que os procedimentos são reproduzíveis em diferentes contextos, locais e escalas de análise.

Recomenda-se que, em estudos futuros, sejam realizados trabalhos de campo para levantamento e/ou monitoramento temporal de espécies de fauna e flora a fim de validar a síntese das métricas de paisagem com os dados observados em campo. Isso pode contribuir para a criação de um índice de integridade de fragmentos florestais que poderá ser utilizado como subsídio para diagnósticos ambientais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – ARSAE-MG. *Relatório de fiscalização: Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH*. Belo Horizonte: ARSAE-MG. 2013, 73 p.

BARBOSA, Getúlio V.; RODRIGUES, David Márcio dos Santos. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1967. 130p.

CAMARGOS, Regina. O nascimento da APA Sul RMBH: o poder da polêmica. In.: ASCELRAD, Henri. *Conflitos ambientais no Brasil*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004, 336 p.

BRASIL. Lei n. 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 19/07/2002.

CARMO, F. F. Importância ambiental e estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero e proposta de áreas alvo para a investigação e proteção da biodiversidade em Minas Gerais. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBHVELHAS. Em meio à situação de escassez hídrica na bacia, CBH Rio das Velhas convoca imprensa e faz alerta. Desenvolvido por CBH Rio das Velhas. Disponível em < <https://cbhvelhas.org.br/noticias/em-meio-a-situacao-de-escassez-hidrica-na-bacia-cbh-rio-das-velhas-convoca-imprensa-e-faz-alerta/>>. Acesso em 09 fev. 2022.

COSTA, Heloísa Soares de Moura; LASCHEFSKI, Klemens. Segregação social como externalização de conflitos ambientais: a elitização do meio ambiente na APA-Sul, Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Ambiente e Sociedade*, vol. 2, n. 11, 2008.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens LandSat-5. *Ra'e Ga*. V. 21, n. 1, 2011.

- DINIZ, J. M. F. S.; REIS, A. A.; JUNIOR, F. W. A.; GOMIDE, L. R. Detecção da expansão da área minerada no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de Sensoriamento Remoto. *Boletim de Ciências Geodésicas*. V. 20, n. 3, 2014.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619 p.
- HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R.; COUSIN, S. H. (Ed). *Landscape Ecology and GIS*. London: Taylor & Francis, 1993. 288 p.
- HOLWAY, D. A. Edge effects of an invasive species across a natural ecological boundary. *Biological Conservation*. V. 121, n. 4, 2005, pp. 561–567.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da paisagem com SIG*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.
- LIANG, S. Atmospheric Correction of Landsat ETM+ Land Surface Imagery—Part I: Methods. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. V. 39, n. 11, 2001.
- MAGALHÃES, D. M. *Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de paisagem*. 2013. 163 f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- MARTINS, Andrea. Conflitos ambientais em Unidades de Conservação: dilemas da gestão territorial no Brasil. *Revista Bibliográfica de Geografia Y Ciencias Sociales*. Vol. 17, n. 989, 2012.
- McGarigal, K.; Cushman; S. A.; Ene, e. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. *Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: CNPQ, 2012, 266 p.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, São Paulo, v. 1, n. 1, 2001.
- MINAS GERAIS. Decreto n. 35.624 de 08 de junho de 1994. Declara Área de Proteção Ambiental e da outras providências. *Diário do Executivo – Minas Gerais*. Belo Horizonte, 09/06/1994.
- OUIDRANI, H.; VERMOTE, E. F. Operational Atmospheric Correction of Landsat TM Data. *Remote Sensing of Environment*. V. 70, n. 1, 1999.
- PIUZANA, Danielle; MENESES, José Newton Coelho; MORAIS, Marcelino; FAGUNDES, Marcelo. Espaços de mineração e caminhos do abastecer: as paisagens, os lugares e o território do Quadrilátero Ferrífero. *Campina Grande*, vol. 1, n. 02, 2011.
- TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. (Ed). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer, 1991. 536 p.
- TURNER, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematic*. V. 20. 1989, pp. 171-197.