

**MONITORAMENTO DA ALTERAÇÃO DA PAISAGEM FLORESTAL ENTRE 2004  
E 2018 NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA, MG - BRASIL**

MONITORING CHANGES OF THE FOREST LANDSCAPE BETWEEN 2004 AND 2018  
IN THE MUNICIPALITY OF JUIZ DE FORA, MG – BRASIL

MONITOREO DE CAMBIOS DEL PAISAJE FORESTAL ENTRE 2004 Y 2018 EN EL  
MUNICIPIO DE JUIZ DE FORA, MG – BRASIL

**Luan Carlos Octaviano Ferreira Leite<sup>1</sup>**

**Cézar Henrique Barra Rocha<sup>2</sup>**

**Resumo:** O processo de urbanização e a expansão da agropecuária são os maiores responsáveis pela redução das coberturas florestais nativas e revegetadas (restauradas) em todos os biomas do Mundo. A Mata Atlântica no Brasil se reduz hoje a esparsos fragmentos nas serras, áreas rurais e em unidades de conservação, prejudicando a manutenção da biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos. O objetivo desse artigo foi monitorar a alteração da cobertura florestal do município de Juiz de Fora (MG) entre os anos de 2004 e 2018 através das métricas de paisagem. Foram utilizadas imagens Landsat e Sentinel da estação seca classificadas por MAXVER e submetidas a extensão Patch Analyst do software ArcGIS 10.2.1. Os resultados mostraram um processo avançado de fragmentação onde fragmentos maiores e mais espaçados se dividiram em fragmentos menores, porém mais próximos, mais que dobrando em número. Eles assumiram formas mais complexas e distintas de círculos, uma evidência da intervenção antrópica. O Índice de Áreas de Núcleo também se reduziu ao longo dos anos, corroborando com o aumento no número de fragmentos e redução do tamanho dos mesmos, aumentando o efeito de borda e a perda de habitat. A expansão da silvicultura em cerca de 7%, com destaque para a porção noroeste (distrito de Rosário de Minas), deve ser monitorada pelo poder público com vista ao manejo sustentável, limitando o desmatamento e reforçando a fiscalização em busca do equilíbrio ecológico da sua paisagem.

**Palavras-chave:** Fragmentação. Conservação. Métricas Ecológicas.

**Abstract:** The urbanization process and the expansion of agriculture and livestock are the main responsible for the reduction of native and revegetated (restored) forest cover in all biomes in the world. The Atlantic Forest in Brazil today is reduced to sparse fragments in the mountains, rural areas and in conservation units, impairing the maintenance of biodiversity and the provision of ecosystem services. The objective of this article was to monitor the change in forest cover in the municipality of Juiz de Fora (MG) between the years 2004 and 2018 through

---

<sup>1</sup> Bacharel em Gestão Ambiental pela UFRRJ. Mestrando em Ambiente Construído pela UFJF. Juiz de Fora/MG. Email: [luan.octaviano@engenharia.ufjf.br](mailto:luan.octaviano@engenharia.ufjf.br). Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/0629658112430513>. Orcid iD: <http://orcid.org/0000-0002-6370-8474>.

<sup>2</sup> Doutor em Geografia pela UFRJ. Professor titular da UFJF. Juiz de Fora/MG. Email: [barra.rocha@engenharia.ufjf.br](mailto:barra.rocha@engenharia.ufjf.br). Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/8729240139391301>. Orcid iD: <http://orcid.org/0000-0003-1321-158X>.

landscape metrics. Landsat and Sentinel images of the dry season classified by MAXVER and submitted to the Patch Analyst extension of the ArcGIS 10.2.1 software were used. The results showed an advanced fragmentation process where larger and more spaced fragments were divided into smaller fragments, but closer together, more than doubling in number. They took on more complex and distinct forms of circles, evidence of anthropic intervention. The Core Area Index has also been reduced over the years, corroborating the increase in the number of fragments and the reduction of their size, increasing the edge effect and loss of habitat. The expansion of silviculture by about 7%, with emphasis on the northwestern portion (district of Rosário de Minas), should be monitored by the government with a view to sustainable management, limiting deforestation and reinforcing inspection in search of the ecological balance of its landscape.

**Keywords:** Fragmentation. Conservation. Ecological Metrics.

**Resumen:** El proceso de urbanización y la expansión de la agricultura y la ganadería son los principales responsables de la reducción de la cubierta forestal nativa y revegetada (restaurada) en todos los biomas del mundo. El Bosque Atlántico en Brasil hoy se reduce a fragmentos dispersos en las montañas, áreas rurales y en unidades de conservación, lo que perjudica el mantenimiento de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. El objetivo de este artículo fue monitorear el cambio en la cobertura forestal en el municipio de Juiz de Fora (MG) entre los años 2004 y 2018 a través de métricas de paisaje. Se utilizaron imágenes Landsat y Sentinel de la estación seca clasificadas por MAXVER y enviadas a la extensión Patch Analyst del software ArcGIS 10.2.1. Los resultados mostraron un proceso de fragmentación avanzado en el que los fragmentos más grandes y espaciados se dividieron en fragmentos más pequeños, pero más juntos, más que duplicando en número. Asumieron formas más complejas y distintas de círculos, evidencia de intervención antrópica. El índice de área central también se ha reducido a lo largo de los años, corroborando el aumento en el número de fragmentos y la reducción de su tamaño, aumentando el efecto de borde y la pérdida de hábitat. La expansión de la silvicultura en aproximadamente un 7%, con énfasis en la porción noroeste (distrito de Rosário de Minas), debe ser monitoreada por el gobierno con miras a una gestión sostenible, limitando la deforestación y reforzando la inspección en busca del equilibrio ecológico de su paisaje.

**Palabras clave:** Fragmentación. Conservación. Métrica ecológica.

## Introdução

As florestas tropicais abrigam aproximadamente dois terços de todas as espécies de plantas e animais da Terra, contudo, vêm se destacando como um dos ambientes naturais mais afetados pela fragmentação de habitats nos últimos anos (ALMEIDA, 2016). O Brasil é considerado um dos países mais biodiversos do planeta, possuindo aproximadamente 30% de todas as florestas tropicais. De acordo com Garcia et al. (2013) as florestas brasileiras têm sido exploradas desde o descobrimento do país, seja por atividades econômicas ou pelo valor comercial de determinadas espécies. A Mata Atlântica é um bioma brasileiro considerado um hotspot devido a seus altos índices de biodiversidade e endemismo, e também ao alto índice de degradação a que esteve historicamente submetido (MMA, 2010).

Apesar de ocorrer de maneira natural em alguns casos, a fragmentação de habitats ganha força com as intervenções antrópicas. Dentre as principais intervenções capazes de promovê-la podem ser citadas a extração madeireira; a supressão da floresta por meio de queimadas; a substituição da cobertura florestal nativa por reflorestamento com espécies exóticas; a expansão das atividades agropecuárias que substituem os remanescentes por pastagens e áreas de cultivo; práticas agrícolas mecanizadas; a ocupação de terras por movimentos sociais que tem dificuldades em manter a cobertura florestal; o padrão da estrutura fundiária existente que dificulta a proteção das florestas e propicia a ações que geram perturbações nas áreas dos remanescentes florestais; o crescimento urbano desordenado; pressão de turismo; a caça e a captura de animais silvestres e as obras de saneamento ambiental que alteram cursos de rios, rebaixam o lençol freático e alteram o equilíbrio hídrico, modificando a paisagem e criando fragmentos no meio aquático (MMA, 2003).

A degradação de fragmentos florestais, na verdade, é resultante de uma complexa interação entre diversos fatores como os supracitados, que causam a redução de sua área, seguida de maior exposição ao efeito de borda e isolamento, criando um mosaico de eco-unidades únicas para cada ambiente (VIANA & PINHEIRO, 1998). A perda de um habitat em si não resulta necessariamente em fragmentação, mas a perda de uma macha em uma matriz maior em que esta encontrava-se inserida faz com que as manchas remanescentes tornem-se mais isoladas entre si e permeadas por uma matriz de habitat desfavorável (TONETTI, MUYLAERT, & RIBEIRO, 2019), podendo resultar em perdas de biodiversidade e aumentos na vulnerabilidade ecológica de fragmentos florestais (SANTOS et al. 2016).

É nesse ponto que a Ecologia da Paisagem se insere, com a principal finalidade de compreender como os aspectos e processos ecológicos são afetados pela configuração espacial dos ambientes (TONETTI, MUYLAERT & RIBEIRO, 2019). Compreender o padrão de uma paisagem gera informações indispensáveis sobre como a sua composição e configuração variam ao longo do espaço geográfico e da escala de observação (RIITTERS, 2019). Segundo Santos et al. (2012) a Ecologia da Paisagem se diferencia em alguns aspectos da ecologia tradicional que faz análises das relações verticais entre animais, plantas, solo, água, tratando mais especificamente de análises horizontais das diversas unidades espaciais presentes em determinada paisagem.

Tendo em vista a importância da cobertura vegetal para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos indispensáveis às atividades humanas (RICKLEFS & RELYA,

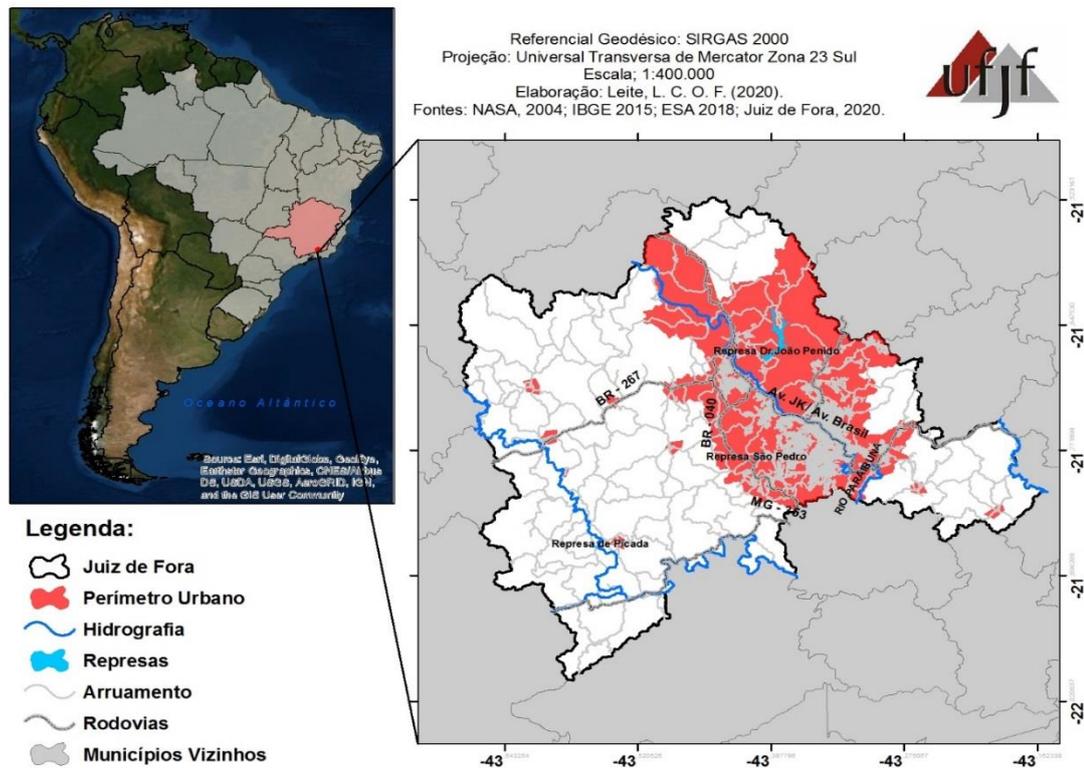
2016) faz-se necessário o manejo dos fragmentos florestais e da paisagem em que estão inseridos de modo a defini-los como elementos chave para a recuperação qualitativa da paisagem em busca da sustentabilidade e da manutenção da qualidade de vida (VIANA & PINHEIRO, 1998). Deste modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar a cobertura florestal do município de Juiz de Fora (MG) entre os anos de 2004 e 2018 através das métricas de paisagem, evidenciando possíveis processos de fragmentação e perdas de habitat. Complementarmente, objetiva-se oferecer subsídio ao planejamento de futuras medidas de manejo, intervenções ou técnicas que busquem promover a conservação, recuperação e o desenvolvimento sustentável no território de Juiz de Fora.

## **Material e Métodos**

### **Área de estudo**

O município de Juiz de Fora (Figura 1) se localiza no estado brasileiro de Minas Gerais, na mesorregião da Zona da Mata mineira. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, sua população no último censo (IBGE, 2010) era de 516.247 habitantes, estimando-se que a população tenha atingido os 568.873 habitantes em 2019. O município possui uma extensão territorial de 1.435,749 km<sup>2</sup> 2019 (IBGE 2019), e está inserido no Bioma Mata Atlântica na modalidade Floresta Estacional Semidecidual (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

**Figura 1.** Carta de localização do município de Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil, América do Sul.



Fonte: Autores, 2020.

Seu clima apresenta duas estações bem definidas: uma, que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas. Segundo a classificação de W. Köppen, a região possui um clima Cwa, ou seja, um clima mesotérmico com verões quentes e chuvosos (JUIZ DE FORA, 2009).

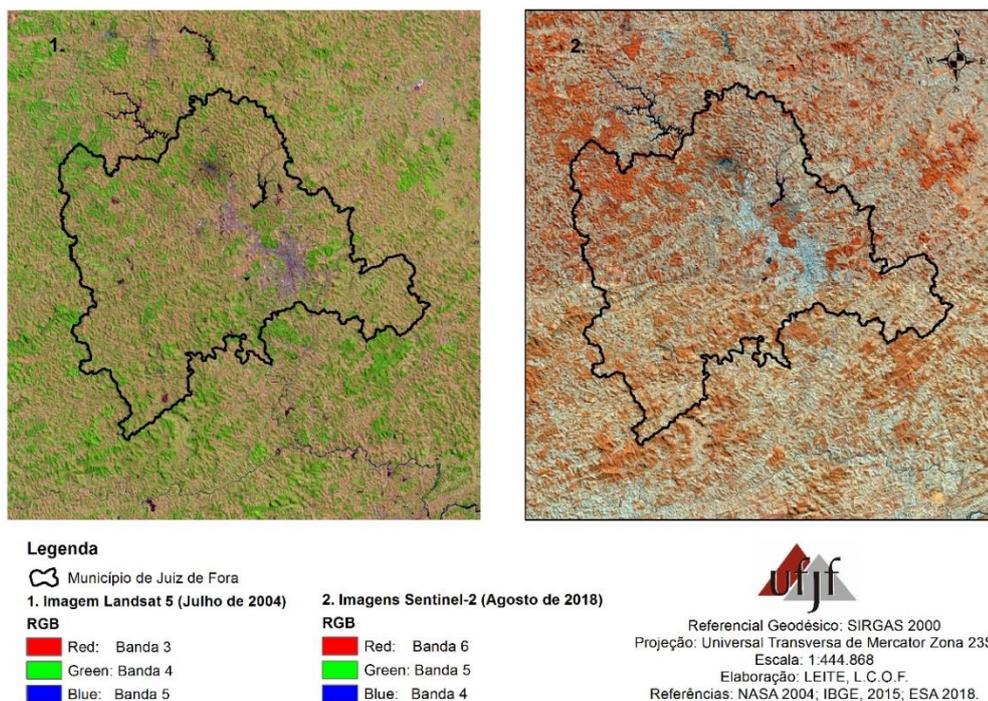
O relevo da Zona da Mata, onde o município está inserido é fortemente ondulado e montanhoso, com morros em meia-laranja, resultantes da dissecação pluvial (NUNES et al., 2001).

### Métricas da paisagem

Inicialmente foi necessária a obtenção de uma imagem do satélite Landsat 5 datada de julho de 2004 e duas do satélite Sentinel-2 datadas de agosto de 2018 para o mapeamento dos fragmentos florestais. As imagens foram baixadas no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019) e Earth Data (USGS, 2019). Foi adotada uma composição de bandas para destaque da vegetação, sendo: bandas 3,4 e 5 para a imagem Landsat e 4, 5 e 6 para

as imagens Sentinel-2 que posteriormente foram combinadas em um mosaico, como representado na Figura 2.

**Figura 2.** Imagem Landsat e Sentinel utilizadas no presente estudo, com as respectivas composições de bandas adotadas.



Fonte: Autores, 2020.

Para a classificação da imagem foi empregado método supervisionado de Classificação por Máxima Verossimilhança (MAXVER). Conforme relata Zanotta (2019) esse processo equivale a determinar para cada pixel da imagem qual categoria ele representa na superfície da Terra como mata, água ou solo exposto, por exemplo, coletando amostras de cada uma delas via Sistema de Informação Geográfica (SIG). Essas amostras são agrupadas por classe, salvas como uma assinatura e aplicadas na área toda. Após a classificação, os arquivos *raster* gerados foram recortados ao território da área de estudo, convertidos para o formato vetorial e procedeu-se então a individualização da classe que representa os fragmentos florestais.

As métricas de paisagem empregadas foram divididas em quatro grupos: métricas de área e borda, métricas de forma, métricas de interior e métricas de agregação. O Quadro 1 contém as métricas selecionadas e seus respectivos significados, conforme Mc Garical (2015). As métricas de forma escolhidas foram aquelas ponderadas pela área, pois geram resultados mais consistentes para análises de variação temporal (BATISTA, 2014). Cabe destacar também, que para as métricas de interior foi adotada uma distância de 50 metros da borda como sendo

uma distância a partir da qual começam a se reduzir os sinais dos impactos do efeito de borda sobre as espécies arbóreas.

**Quadro 1.** Métricas da paisagem empregadas no presente estudo com seus respectivos significados e categorias.

<b>Métricas de Área e Borda</b>	
Área da Classe	Soma da área de todos os fragmentos (ha);
Área do Fragmento	Área (m <sup>2</sup> ) do fragmento;
Perímetro do Fragmento	Perímetro (m) do fragmento, incluindo quaisquer buracos internos, independentemente de o perímetro representar a borda "verdadeira" ou não;
Borda Total	Soma dos comprimentos (m) de todos os segmentos de borda na paisagem;
Densidade de Borda	Representa a razão entre o comprimento das bordas (m) e a área (ha) das classes/paisagem;
Coefficiente de Variação do Tamanho dos Fragmentos	Medida de variação do tamanho dos fragmentos de uma classe ou paisagem.
<b>Métricas de Forma</b>	
Índice de Forma Médio Ponderado pela Área	Relaciona a forma do fragmento a uma forma padrão circular ou quadrada. Valores próximos a 1 representam fragmentos de forma circular, se tornando mais irregulares conforme maior o valor obtido;
Dimensão Fractal Média Ponderada pela Área	Representa a complexidade da forma da borda do fragmento, sendo expresso em valores entre 1 e 2, sendo valores próximos a 1 formas mais simples aumentando de complexidade até 2;
<b>Métricas de Interior</b>	
Número de Áreas de Núcleo	É igual ao número de áreas centrais disjuntas contidas na classe ou paisagem;
Índice de Área de Núcleo	Porcentagem de uma classe ou paisagem que é representada por área de núcleo;
Tamanho das Áreas de Núcleo	Representa a média do tamanho das áreas de núcleo (ha);
<b>Métricas de Agregação</b>	
Número de Fragmentos	Representa a simples contagem no número de fragmentos presentes em uma classe ou paisagem;
Distância do Vizinho Mais Próximo	Distância da borda de um fragmento à borda de seu vizinho da mesma classe mais próximo;
Índice de Separação	Indica o quanto os fragmentos de uma classe ou paisagem são separados entre si.

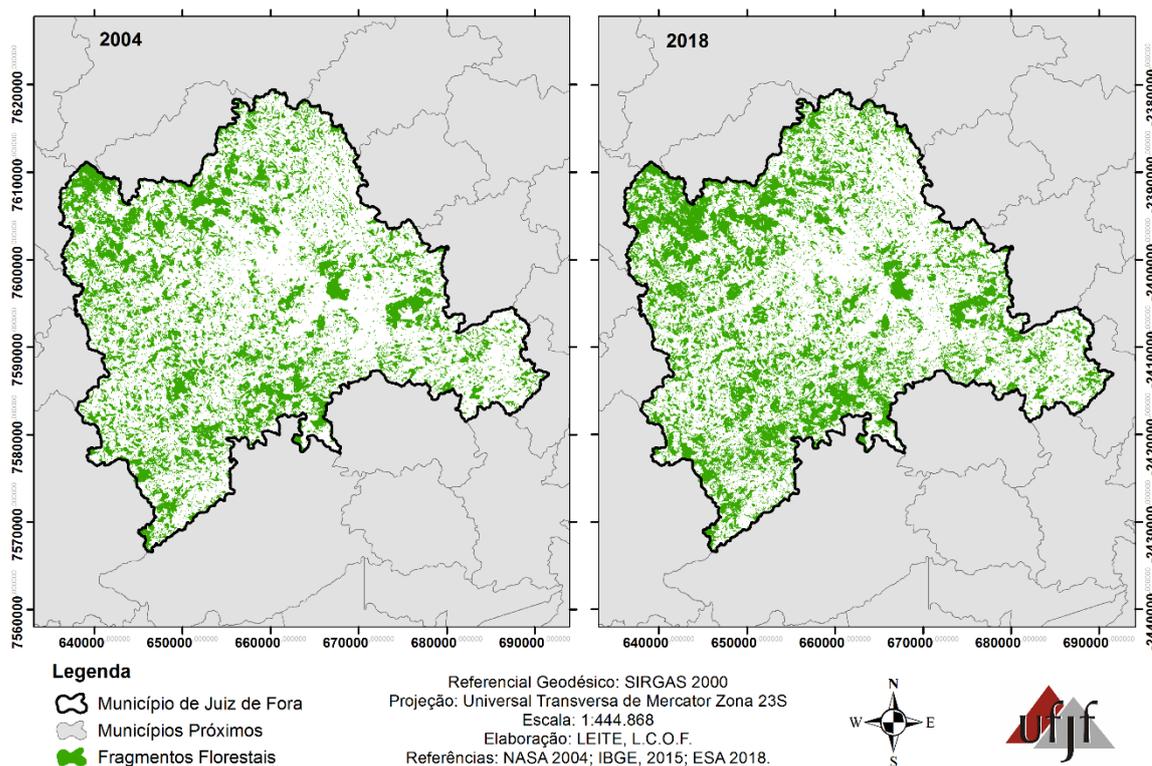
Fonte: Adaptado de Batista (2014) e Mc Garical (2015).

Toda a análise espacial foi realizada no software ArcGis versão 10.2.1 com uso da extensão Patch Analyst versão 5.2.0.16 (REMPEL, KAUKINEN & CARR, 2012). A partir dos resultados obtidos nas métricas foi realizada uma análise comparativa entre os anos de 2004 e 2018 com o objetivo de observar como e quais alterações ocorreram na dinâmica espacial dos fragmentos florestais da área de estudo.

## Resultados

A partir da classificação da imagem foi possível mapear os fragmentos florestais do município de Juiz de Fora nos anos de 2004 e 2018. Na Figura 3 está representado o resultado do mapeamento.

**Figura 3.** Distribuição espacial dos fragmentos florestais do município de Juiz de Fora, MG, nos anos de 2004 e 2018.



Na tabela 1 são descritos de forma sintetizada os resultados obtidos no presente estudo, que serão discutidos adiante.

**Tabela 1.** Resultados das métricas de área e borda, de forma, de interior e de agregação da cobertura florestal do município de Juiz de Fora, MG, nos anos de 2004 e 2018.

<b>Métricas de Área e Borda</b>	<b>2004</b>	<b>2018</b>
Área da Classe	43.341,7 ha	49.739,6 ha
Área do Fragmento	3,34 ha	1,70 ha
Perímetro do Fragmento	708,6 m	451,7 m
Borda Total	9.207,8 km <sup>2</sup>	13.240,7 km <sup>2</sup>
Densidade de Borda	0,021 m/m <sup>2</sup>	0,027 m/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Variação do Tamanho dos Fragmentos	1.267,4	2.476,4
<b>Métricas de Forma</b>	<b>2004</b>	<b>2018</b>
Índice de Forma Médio Ponderado pela Área	5,79	9,32
Dimensão Fractal Média Ponderada pela Área	1,39	1,44
<b>Métricas de Interior</b>	<b>2004</b>	<b>2018</b>
Número de Áreas de Núcleo	2.561	4.029
Índice de Área de Núcleo	39 %	35,7 %
Tamanho das Áreas de Núcleo	6,6 ha	4,4 ha
<b>Métricas de Agregação</b>	<b>2004</b>	<b>2018</b>
Número de Fragmentos	12.995	29.314
Distância do Vizinho Mais Próximo	36,3 m	19,6 m
Índice de Separação	80,4	47,8

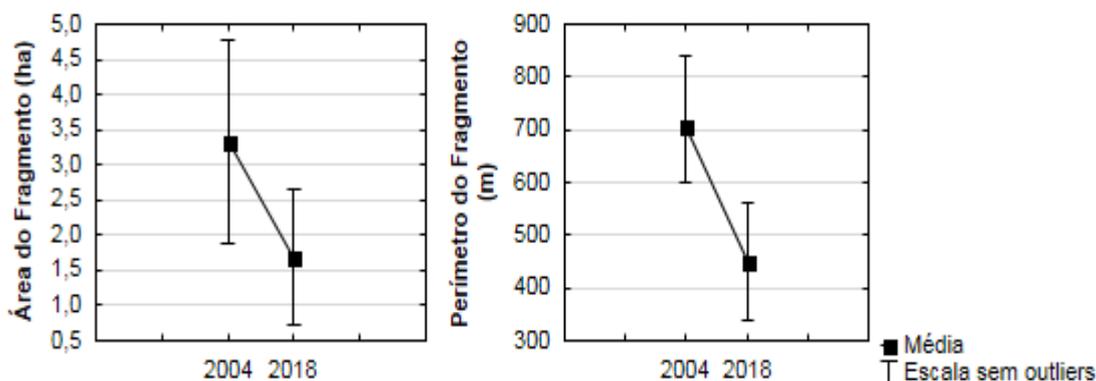
Fonte: Autores, 2020.

As métricas de área e borda mostram um aumento da Área da Classe, indo de 43.341,7 ha no ano de 2004 para 49.739,6 ha em 2018, um incremento de 14,8%. Área do Fragmento e Perímetro do Fragmento, contudo, reduziram-se, indo de 3,34 ha e 708,6 m, respectivamente, em 2004, para 1,70 ha e 541,7 m em 2018. Na Figura 4 é possível verificar a mudança na distribuição destas métricas, assim como o decréscimo em seus valores médios. Observou-se que a Borda Total aumentou em 43,8%, indo de 9.207,8 km em 2004 para 13.240,7 km em 2018. A Densidade de Borda subiu de 0,021 m/m<sup>2</sup> em 2004 para 0,027 m/m<sup>2</sup>, assim como o Coeficiente de Variação no Tamanho dos Fragmentos que era de 1267,4 em 2004 e chegou a 2476,4 em 2018.

Tais resultados das métricas de área e borda demonstram que apesar do aumento em termos de Área da Classe, os fragmentos se dividiram ao longo dos anos em fragmentos menores, como demonstrado na Figura 4, justificando assim a redução do Perímetro e aumentos da Borda Total e do Coeficiente de Variação do Tamanho dos Fragmentos. Os dados sugerem, desta forma, a possível ocorrência de um processo de fragmentação florestal na área de estudo,

com aumento nas áreas sujeitas a efeito de borda e redução do tamanho médio dos fragmentos florestais acompanhada de uma maior disparidade entre seus tamanhos.

**Figura 4.** Gráfico com a distribuição das métricas Área do Fragmento (ha) e Perímetro do Fragmento (m) para os anos de 2004 e 2018.



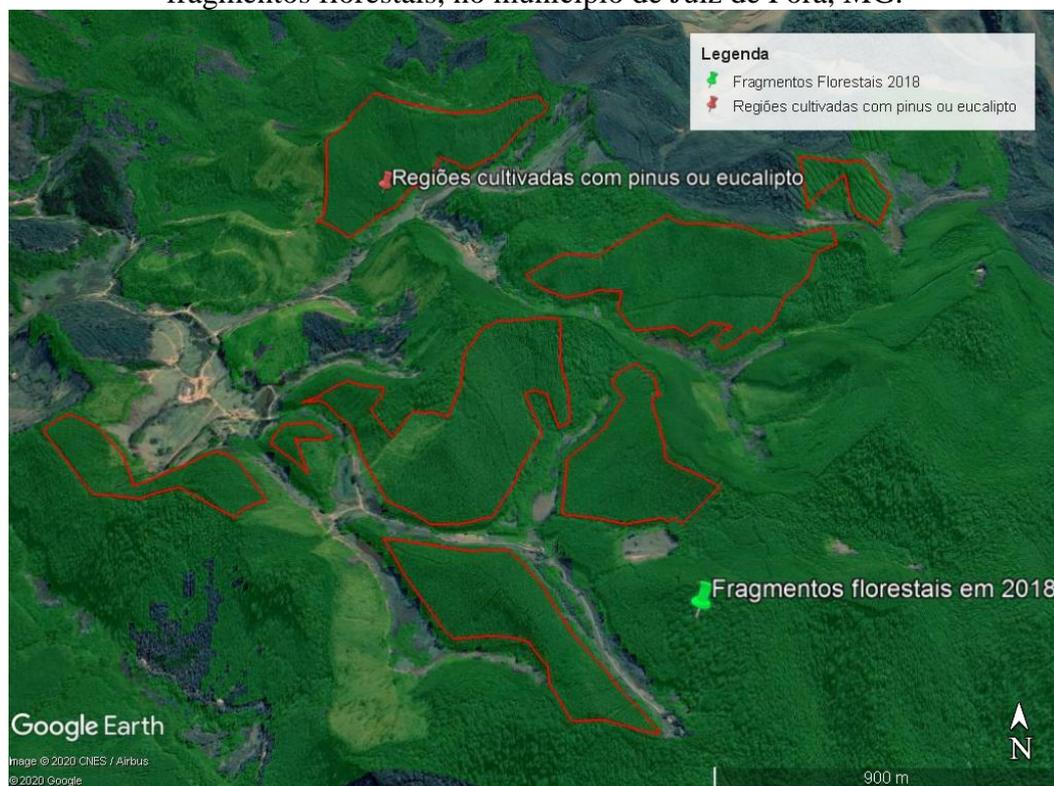
Fonte: Autores, 2020.

É importante reforçar que o aumento da Área da Classe, no caso do município de Juiz de Fora, não significa necessariamente um benefício para a conservação. A partir da vetorização de uma carta de uso e cobertura do solo do ano de 2014, obtida no Plano Diretor Municipal de Juiz de Fora (2014), foi observada a presença de áreas destinadas à silvicultura. A região do distrito de Rosário de Minas, localizado na porção noroeste do município, onde houve significativo aumento de tamanho dos fragmentos, é também a porção do município que abriga mais áreas cobertas com silvicultura. Comparando a carta de 2014 com o mapeamento dos fragmentos de 2018, vê-se que aproximadamente 3.502,18 ha, ou seja, 7,04% da Área da Classe em 2018, podem ser representados por zonas de silvicultura se essas áreas não tiverem aumentado.

Lima (2010), em uma comparação das variações das métricas de paisagem do município de Juiz de Fora, entre os anos de 1987 e 2007, também chegou à questão da presença de cultivos de eucalipto e pinus afetando os resultados referentes à Área da Classe. O autor pondera que o aumento da Área da Classe não poderia ser atribuído somente à regeneração natural, estando ligado a um crescimento no número de imóveis rurais no município voltados à exploração destes cultivos comerciais para o abastecimento de siderúrgicas. Buscas por empreendimentos voltados à silvicultura no município, indicam a presença de pelo menos duas empresas deste ramo, mais especificamente o cultivo de eucalipto e pinus no distrito de Rosário de Minas. Conforme a Figura 5, imagens do Google Earth do ano de 2019 permitem observar áreas onde

há o cultivo de eucalipto ou pinus, indicando que esse tipo de uso da terra tem sido empregado em diversas partes do município de Juiz de Fora.

**Figura 5.** Imagem do Google Earth do ano de 2019 com a delimitação de alguns polígonos de silvicultura presentes na região do distrito de Rosário de Minas classificados como fragmentos florestais, no município de Juiz de Fora, MG.



Fonte: Google Earth, 2019.

O método de classificação de imagens MAXVER não permitiu distinguir áreas de mata e silvicultura devido a resolução das imagens disponíveis, afetando este resultado. Fynn & Campbell (2019), argumentam que os efeitos da resolução das imagens no processo de classificação são mais aparentes na caracterização de áreas de estudo específicas, entretanto, boa resolução não é sinônimo de classificações de alta qualidade, tendo em vista que o método empregado também é um fator importante. Desta forma, as avaliações e validações da precisão da classificação de imagens de sensores remotos continuam sendo de extrema importância.

Vital (2007) descreve a problemática do cultivo de eucalipto e pinus, e seus impactos sobre o equilíbrio ambiental. Essas culturas, se manejada de maneira irresponsável, certamente acarretam impactos ambientais negativos, como déficits hídricos, degradação do equilíbrio físico-químico e estrutural do solo e perdas em termos de biodiversidade. Contudo, a presença

ou não, e a intensidade destes impactos dependem de fatores prévios ao plantio, como condições da área, técnicas de manejo e características do bioma em que será inserido.

O autor relata que em condições pluviométricas superiores a 1.200 mm/ ano, como é o caso do município de Juiz de Fora, que possui uma pluviosidade média anual de 1.504 mm (CLIMATE-DATA, 2019), os plantios de eucalipto tendem a não prejudicar o balanço hídrico. Segundo Vital (2007), quanto ao solo, ao substituir cobertura florestal por cultivos de eucalipto pode ocorrer significativa remoção de nutrientes pela cultura, assim como perdas por lixiviação e o surgimento de processos erosivos devido ao seu baixo índice foliar que permite maior ação da precipitação sobre o solo. Em relação a biodiversidade, as florestas de eucalipto abrigam uma diversidade de espécies vegetais e animais muito menor que as matas nativas, gerando habitats com menor heterogeneidade. Contudo, quando manejadas adequadamente em áreas degradadas, como pastagens abandonadas, são observadas melhorias nas condições do solo e na biodiversidade presente na área do plantio (VITAL, 2007).

Segundo Thomazini & Thomazini (2000), em florestas comerciais como as de eucalipto, a proximidade com fragmentos de floresta nativa é de extrema importância para a manutenção e aumento da diversidade de insetos. Observa-se que na área de estudo a maioria das manchas de silvicultura dos anos de 2014 e 2019 estão intercaladas com os fragmentos florestais, o que pode ser considerado um ponto positivo. A presença de insetos nestas florestas comerciais pode possibilitar algum grau de manutenção dos serviços ecossistêmicos prestados por esse grupo como a polinização, mesmo que significativamente menores do que em matas nativas, além de reduzir a incidências de pragas que promovem prejuízos ao empreendedor (THOMAZINI & THOMAZINI, 2000).

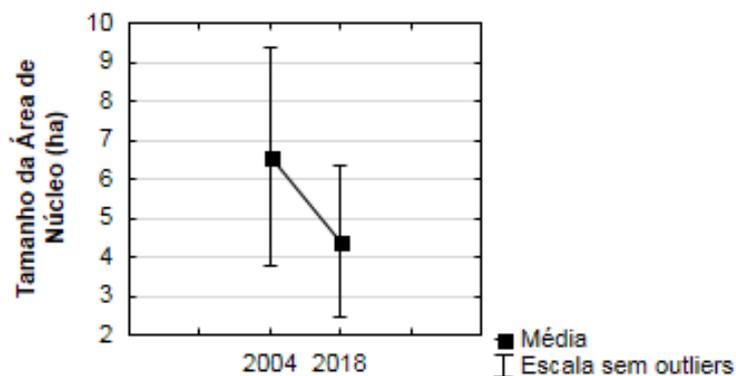
Tavares et al. (2019) afirmam que em regiões de Mata Atlântica as plantações de eucalipto podem ser classificadas e gerenciadas como ecossistemas híbridos. O autor demonstra que a partir de mudanças de paradigma no manejo convencional, pode-se elevar significativamente o valor de conservação destas áreas, mantendo produtividade e oferecendo habitats complementares para espécies importantes. Cabe ressaltar, entretanto, que as plantações de eucalipto são habitats viáveis para apenas uma parcela muito limitada do pacote ecológico da Mata Atlântica, jamais podendo ser comparado a um fragmento sadio de mata nativa. Desta forma, é necessário dar devida ênfase à importância de se conservar os remanescentes e espécies nativos (TAVARES et al. 2019).

Acerca dos resultados das métricas de forma, observou-se que o Índice de Forma Médio Ponderado pela Área teve um aumento, indo de 5,79 no ano de 2004 para 9,32 em 2018, assim como a Dimensão Fractal Média Ponderada pela Área, que mostrou um aumento, subindo de 1,39 em 2004 para 1,44 em 2018.

Os aumentos no Índice de Forma Ponderado pela Área e da Dimensão Fractal Ponderada pela Área mostram que os fragmentos saíram de formas mais simples, circulares ou quadradas, em 2004, para assumirem formas mais irregulares e complexas, com um maior número de vértices em 2018. Segundo Hott et al. (2007) a ação antrópica gera fragmentos florestais com dimensões fractais maiores, seja através de intervenções como recuperação de matas ciliares, recomposição de fragmentos e atividades silvícolas ou mesmo pelo desmatamento e exploração desordenada tornando irregular a forma dos fragmentos. As características do relevo também contribuem para esse fenômeno, uma vez influenciam no processo de antropização. Tais resultados também podem ter relação com o surgimento de áreas de silvicultura, tendo em vista sua distribuição intercalada com os fragmentos como demonstrado anteriormente.

Quanto às métricas de interior, observou-se, que no ano de 2004 o Número de Áreas de Núcleo era 2.561, o que representa 19,7% do número total de fragmentos naquele ano. Em 2018 o Número de Áreas de Núcleo subiu para 4.029, porém, representando 13,7% do total de fragmentos. O Índice de Área de Núcleo em 2004 era de 39% da Área da Classe, caindo para 35,7% no ano de 2018. Foi percebido também uma redução no Tamanho da Área de Núcleo, conforme a Figura 6, onde o tamanho médio das áreas de núcleo que era de 6,6 ha em 2004 reduziu para 4,4 ha em 2018.

**Figura 6.** Gráfico com a distribuição do tamanho da área de núcleo dos fragmentos florestais do município de Juiz de Fora, MG, nos anos de 2004 e 2018.



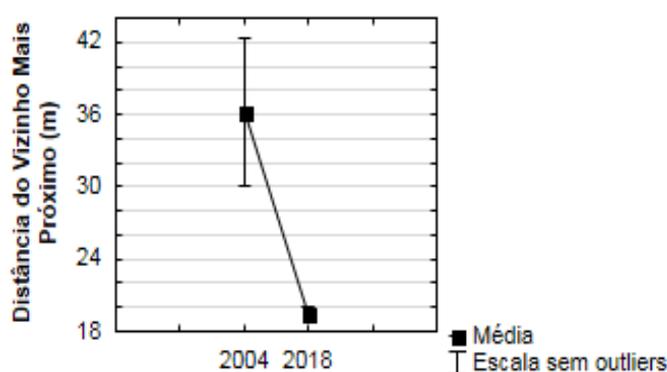
Fonte: Autores, 2020.

Os dados demonstram um aumento do Número de Áreas de Núcleo, apesar de sua porcentagem em relação ao número total de fragmentos e da Densidade de Área de Núcleo terem sofrido reduções. Esse resultado pode ser atribuído a um aumento significativo do número de fragmentos pequenos que não possuem área de núcleo, mas que, entretanto, contribuem para o aumento da área total de cobertura florestal incluindo áreas de borda, promovendo a redução da Densidade de Área de Núcleo no ano de 2018. Esse fato é agravado pela redução no tamanho das áreas de núcleo, um visível efeito negativo da fragmentação de habitats.

Segundo Schaadt & Vibrans (2015) quanto maior a área de um fragmento e a distância da borda em relação ao seu interior, maior a ocorrência de espécies climáticas, características de avançados estágios sucessionais, com maiores diâmetros à altura do peito e área basal. Enquanto as regiões próximas da borda dos fragmentos tendem a ser ocupadas por espécies pioneiras e secundárias, adaptadas a situações de perturbação ambiental, como maior resistência à incidência solar e aos demais impactos do efeito de borda. O que corrobora com a ideia de que paisagens com maior cobertura florestal tendem a abrigar florestas de muito maior complexidade ecológica e menos sujeitas às interferências da matriz circundante de habitat desfavorável.

Ao analisar as métricas de agregação notou-se que o Número de Fragmentos mais que dobrou no período estudado, indo de 12.995 em 2004 para 29.314 em 2018. O valor médio da Distância do Vizinho Mais Próximo, que era de 36,3 m em 2004, se reduziu para 19,6 m em 2018 conforme descrito na Figura 7. O Índice de Separação também corrobora com a redução do isolamento dos fragmentos, visto que houve uma redução em seu valor, que foi de 80,4 em 2004 para 47,8 em 2018.

**Figura 7.** Gráfico com a distribuição dos resultados da métrica Distância do Vizinho Mais Próximo, nos anos de 2004 e 2018.



Fonte: Autores, 2020.

Esses dados demonstram que houve um processo de fragmentação da cobertura florestal, onde os fragmentos maiores e mais espaçados entre si de 2004 se dividiram em outros menores e menos espaçados. Contudo, o maior número e menor distância dos fragmentos não representam necessariamente uma melhoria em seu potencial para o manejo conservacionista uma vez que suas áreas se reduziram. Mesmo se descontados os 7,05 % de áreas de silvicultura presentes em 2014, independentemente do valor ter reduzido ou aumentado até 2018, dificilmente seria suficiente para causar interferência no resultado geral de que houve um aumento expressivo no número de fragmentos, denotando uma fragmentação.

Conforme explicam Kageyama & Gandara (1997) a fragmentação florestal acarreta em redução do número de indivíduos de uma população, promovendo perdas de variação genética. A população remanescente passa a ter um tamanho abaixo do mínimo adequado para assegurar sua normal continuidade e evolução. Nessa população reduzida pode ocorrer, a curto prazo, deriva genética, o que significa ter as frequências de seus genes cada vez mais distintas da população original, podendo chegar a perder alelos. A longo prazo, pode haver um aumento nos índices de endogamia, devido a maior probabilidade de autofecundação e acasalamento entre indivíduos aparentados.

Dekeukeleire et al. (2019), entretanto, alertam para o fato de que não é possível determinar o valor de um fragmento florestal usando apenas a área como indicador. Os autores demonstram que a conservação de pequenos fragmentos florestais com alta disponibilidade de recursos, através de melhorias nas condições de habitat dos mesmos é de suma importância visto que a disponibilidade de recurso também é um fator chave para o sucesso reprodutivo das espécies, sendo tão importante quanto a área do fragmento. Em seus resultados os autores observaram que a fragmentação florestal afetou negativamente a sobrevivência de filhotes de diversas espécies de artrópodes devido restrições na disponibilidade de recursos.

Sousa et al. (2017) observaram que a fragmentação também leva a alterações na composição florística do banco de sementes, colocando em risco os fragmentos menores. Seus resultados indicam a predominância de espécies pioneiras como gramíneas e outras espécies ruderais no banco de sementes destes fragmentos, o que é um fato preocupante tendo em vista que em casos de distúrbios ambientais estas podem dispersar-se facilmente pela área. Desta forma, a conexão entre fragmentos e fontes próximas parece ser de extrema importância para evitar sua completa degradação, evidenciado a importância da conectividade e do fluxo gênico.

Estudos como os de Gimenes and Anjos (2003) e Maués and Oliveira (2010), indicam a importância da conservação dos habitats para polinizadores e dispersores. Dentre esses, os insetos, notadamente as abelhas, assim como as aves, pois são responsáveis pelo transporte de pólen e sementes a longas distâncias. Tais atores tem um papel de grande relevância para a manutenção da saúde reprodutiva dos componentes arbóreos em remanescentes florestais, devendo ser preservados para que se garanta a continuidade de diversas espécies sob exploração e a sustentabilidade do manejo florestal. Em termos de conservação da avifauna, há muitos indícios de que pequenos fragmentos florestais suportam apenas parte do total de aves originais do local, tendendo a convergir para aquelas mais comuns localmente e tolerantes a habitats alterados. Contudo, pequenos fragmentos também têm importância para o equilíbrio ecológico, podendo atuar como locais de descanso para as aves migratórias e fonte de recolonização para outras florestas próximas, podendo reduzir o risco da extinção sobre as mesmas.

Quando conservada, a cobertura vegetal além de atuar na manutenção da biodiversidade, exerce um importante papel na regulação do ciclo hidrológico. Lima (2008) destaca que as áreas florestadas mantêm condições ideais de infiltração, contribuindo positivamente na recarga dos aquíferos, protegendo o solo contra processos erosivos por meio da interceptação das chuvas pelo dossel, o que dissipa a energia das gotas d'água que atingem o solo, regulando o tempo de escoamento e a distribuição da água precipitada no solo. A vegetação também exerce papel de barreira para a degradação do solo, ar e água, assegurando serviços ambientais de grande valor ecológico, econômico e social, o que torna a sua conservação um fator imprescindível para a gestão por bacias hidrográficas (TUNDISI & TUNDISI, 2010).

### **Considerações Finais**

A aplicação de métricas da paisagem aliada ao uso do SIG se mostrou eficaz para a verificação de alterações no padrão espaciais da cobertura florestal do município de Juiz de Fora. Contudo, é necessária atenção à interpretação dos resultados, principalmente ao processo de classificação da imagem, visto que a qualidade das imagens disponíveis não permitiu a diferenciação entre fragmentos florestais e florestas comerciais de pinus e eucalipto. Assim, é possível afirmar que o uso destas ferramentas não anula a importância de se buscar outras fontes de informações para a validação dos resultados obtidos.

Foi possível notar um processo de fragmentação da cobertura florestal do município de Juiz de Fora entre os anos de 2004 e 2018, onde fragmentos maiores e mais espaçados se dividiram em fragmentos menores, porém mais próximos, mais que dobrando em número. Nesse processo, os fragmentos assumiram formas mais complexas e distintas de círculos, uma evidência da intervenção antrópica presente. O Índice de Áreas de Núcleo também se reduziu ao longo dos anos, corroborando com o aumento no número de fragmentos e redução do tamanho dos mesmos, aumentando o efeito de borda.

Tal fragmentação pode estar associada a diversos fatores, como aumentos nas áreas de pastagens, das áreas edificadas (urbanização), entre outros, sendo necessários estudos mais aprofundados acerca das variações nos demais componentes da paisagem. Entretanto, percebeu-se no presente estudo o surgimento de áreas destinadas a silvicultura no município, estando este diretamente relacionado ao aumento na Área da Classe Florestas. Tais áreas podem representar tanto um risco quanto uma potencialidade para a conservação dos fragmentos florestais, a depender do tipo de manejo realizado. As florestas comerciais quando plantadas em áreas degradadas diminuem a pressão sobre a mata nativa para o fornecimento de madeira. Em hipótese alguma, deve-se trocar matas por silvicultura devido a maior riqueza da primeira. A conservação e expansão dos poucos fragmentos remanescentes de mata nativa deveria ser prioridade para os gestores públicos. Desta forma, é necessária atenção do poder público a fim de disciplinar a realização dessa atividade no território do município com vista a assegurar a manutenção do equilíbrio ecológico de sua paisagem.

### **Referências Bibliográficas**

ALMEIDA D. S. **Recuperação Ambiental Mata Atlântica**. 3<sup>o</sup> Edição. Eds: Editora da UESC. Ilhéus, BA: Scielo Books, 2016.

BATISTA M. T. F. 2014. **Modelação Geográfica Em Processos de Caracterização e Avaliação Da Paisagem Numa Perspectiva Transfronteiriça**. Universidade de Évora.

CLIMATE-DATA.ORG. **Juiz de Fora**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/juiz-de-fora-5957/>. Acesso em novembro de 2019.

DEKEUKELEIRE, D.; LIONEL R. H.; PIETER, V.; IRENE M. V. S.; BRAM K. S.; ROSCHONG B.; MARTEL, K. V.; BONTE D.; STRUBBE D.; LENS L. 2019. Forest Ecology and Management Forest Fragmentation and Tree Species Composition Jointly Shape Breeding Performance of Two Avian Insectivores. **Forest Ecology and Management**, v. 443, (Fevereiro), pp. 95–105.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Disponível em: [https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica\\_17-18.pdf](https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf). Acesso em novembro de 2019.

FYNN I. E. M.; CAMPBELL J. 2019. Forest Fragmentation Analysis from Multiple Imaging Formats. **Journal of Landscape Ecology**, vol. 12, n. 1: pp. 1–15.

GARCIA, L. S.; SANTOS A. M.; FOTOPOULOS I. G.; FURTADO R. S. 2013. Fragmentação Florestal e Sua Influência Sobre a Fauna: Estudo de Caso Na Província Ocidental Da Amazônia, Município de Urupá, Estado de Rondônia. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, pp. 3163–3170.

GIMENES M. R.; ANJOS L. 2003. Efeitos Da Fragmentação Florestal Sobre as Comunidades de Aves. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, vol. 25, n. 2: pp. 391–402.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>. Acesso em novembro de 2019.

HOTT M. C.; SOARES V. P.; RIBEIRO C. A. A. S.; JACKSON J., GRIFFITH. 2007. Análise Fractal Aplicada à Fragmentação Florestal No Município de Viçosa -MG. **Anais Do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, pp. 5831–5838.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUÍAS ESPACIAIS. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em novembro de 2019.

KAGEYAMA PY, GANDARA FB, SOUZA LMI (1998) Consequências Genéticas Da Fragmentação Sobre Populações de Espécies Arbóreas. **Série Técnica IPEF**, vol. 12, n. 32: pp. 65–70.

TONETTI V. R; MUYLAERT R. L. & RIBEIRO M. C. 2019. Fragmentação de Habitats. In: ASSIS L. S., CAMPOS M., GIRÃO V. J. (Orgs.) **Manejo de Fragmentos Florestais Degradados**. Campinas - SP: The Nature Conservancy, 2019.

LIMA R. N. S. 2010. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas no mapeamento e análise de fragmentos florestais no município de juiz de fora - mg em 1987 e 2008**. Universidade Federal de Juiz de Fora.

LIMA W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Departamento de Ciências Florestais Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2008.

MAUÉS M. M; OLIVEIRA P. E. A. M. 2010. Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas tropicais, com ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, vol. 14, n. 1: pp. 238–250.

MC GARICAL K. 2015. **Fragstats Help**. Disponível em: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>. Acesso em novembro de 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **FRAGMENTAÇÃO DE ECOSISTEMAS: Causas, Efeitos Sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. Eds: RAMBALDI D. M.; OLIVEIRA. D. A. S. Brasília, DF, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mata Atlântica: Manual de Adequação Ambiental**. Eds: CAMPANILI M.; BERTOLO W. Brasília, DF, 2010.

NUNES, W. A. G. A.; KER J. C.; SCHAEFER C. E. G. R.; FERNANDES FILHO E. I.; GOMES F. H. 2001. Relação solo-paisagem-material de origem e gênese de alguns solos no domínio do 'mar de morros', Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências Do Solo**, vol. 25, n. 3: pp. 341–54.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. **Plano Diretor de Juiz de Fora 1996 – Diagnóstico**. Eds: Instituto de Pesquisa e Planejamento de Juiz de Fora, vol. 1, pp. 33-34.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. 2014. **Plano Diretor Participativo**. Disponível em: <http://www.planodiretorparticipativo.pjf.mg.gov.br>. Acesso em novembro de 2019.

REMPEL R.S.; KAUKINEN D.; CARR A. P. 2012. **Patch Analyst and Patch Grid**. Ministério de Recursos Naturais de Ontário. Centro de Pesquisa de Ecossistemas Florestais do Norte, Thunder Bay, Ontário. Disponível em: <http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/>. Acesso em novembro de 2019.

RICKLEFS R.; RELYA R. **A Economia da Natureza**. Orgs: RICKLEFS R.; RELYA, R. 7ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. 803 p.

RIITTERS K. 2019. Pattern Metrics for a Transdisciplinary Landscape Ecology. **Landscape Ecology**, vol. 34, n. 9: pp. 2057–2063.

SANTOS A. R.; PELUZIO J. B. E.; PELUZIO T. M. O.; SANTOS G. M. A. D. A. 2012. **Geotecnologias Aplicadas Aos Recursos Florestais**. Alegre - ES: CAUFES.

SANTOS A. R.; RIBEIRO C. A. A. S.; PELUZIO T. M. O.; PELUZIO J. B. E.; QUEIROZ V. T.; BRANCO E. R. F.; LORENZON A. S.; DOMINGUES G. F.; MARCATTI G. E.; CASTRO N. L. M.; TEIXEIRA T. R.; SANTOS G. M. A. D. A.; MOTTA P. H. S.; SILVA S. F.; VARGAS R.; CARVALHO J. R.; MACEDO L. L.; ARAÚJO L. L.; ALMEIDA S. L. H. 2016. Geotechnology and Landscape Ecology Applied to the Selection of Potential Forest Fragments for Seed Harvesting. **Journal of Environmental Management**, v. 183: pp. 1050–1063.

SCHAADT S. S.; VIBRANS A. C. 2015. O Uso Da Terra No Entorno de Fragmentos Florestais Influencia a Sua Composição e Estrutura. **Floresta e Ambiente**, vol. 22, n. 4: pp. 437–445.

SOUSA T. R.; COSTA F. R. C.; BENTOS T. V.; LEAL FILHO N.; MESQUITA R. C. G.; RIBEIRO I. O. 2017. Forest Ecology and Management: The Effect of Forest Fragmentation on

the Soil Seed Bank of Central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, vol. 393: pp. 105–112.

TAVARES A.; BEIROZ W.; FIALHO A.; FRAZÃO F.; MACEDO R.; LOUZADA J.; AUDINO L. 2019. Forest Ecology and Management Eucalyptus Plantations as Hybrid Ecosystems: Implications for Species Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, vol. 433: pp. 131–139.

TONETTI V. R.; MUYLAERT R. L.; RIBEIRO M. C. Fragmentação de Habitat. In: ASSIS L. S.; CAMPOS M.; GIRÃO V. J. (Orgs.), **Manejo de Fragmentos Florestais Degradados** (pp. 28–47). Campinas, SP: The Nature Conservance, 2019.

TUNDISI J. G.; TUNDISI M. T. 2010. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, vol. 10, n. 4: pp. 67–76.

THOMAZINI M. J.; THOMAZINI A. P. B. W. 2000. A Fragmentação Florestal e a Diversidade de Insetos Nas Florestas Tropicais Úmidas. **Embrapa Acre**, vol. 54: pp. 0–21.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE. **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em novembro de 2019.

VIANA V. M.; PINHEIRO L. A. F. V. 1998. Conservação Da Biodiversidade Em Fragmentos Florestais. **Série Técnica IPEF**, vol. 12, n. 32: pp. 25–42.

VITAL M. H. F. 2007. “Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto”. **Revista Do BNDES**, vol. 14, n. 28: p. 235–276.

ZANOTTA, D. **Processamento de Imagem de Satélite**. Orgs: ZANOTTA, D; ZORTEA & FERREIRA, M. P. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

*Recebido em 06 de fevereiro de 2020.*

*Aceito em 27 de abril de 2020.*

*Publicado em 19 de maio de 2020.*