

---

## ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CATU, ESTADO DA BAHIA-BRASIL

Ana Lucia da Silva **BISPO**

Mestre em Recursos Genéticos Vegetais. Universidade do Estado da Bahia (UNEB).

E-mail: anabio09@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5458-6252>

Mara Rojane Barros **DE MATOS**

Doutora em Botânica. Docente do Departamento de Ciências Exatas e da Terra da  
Universidade do Estado da Bahia (UNEB). E-mail: mmatos@uneb.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5486-7560>

Edilma Nunes **DE JESUS**

Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Sergipe (UFS).

E-mail: edilmanunes@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4201-1213>

Histórico do Artigo:

*Recebido*

*Dezembro de 2021*

*Aceito*

*Abril de 2022*

*Publicado*

*Junho de 2022*

---

---

---

**Resumo:** O presente estudo avaliou a estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Catu, através da análise do grau de fragmentação florestal por meio dos índices e métricas da paisagem. Nesta perspectiva, para delimitar os fragmentos florestais foram utilizadas técnica da fotointerpretação de imagem ortofoto ano 2011 em ambiente SIG (Sistema de Informação geográfica), ArcGis 10.1. As análises foram realizadas através dos cálculos da vulnerabilidade relativa das manchas (VER), conectividade estrutural a partir de expansão de bordas em cenários simulados, além da verificação dos fragmentos encontrados na paisagem através das métricas do Patch Analyst 5.0, a saber: Métricas de Borda (TE), Área (CA e ZELAND), Proximidade (MNN), Densidade (NUMP, MPS, PSSD e Pscov) e Forma (MSI). Em 42.556 hectares de área, foram verificados 441 fragmentos, cujo somatório totalizam 2.577 hectares, correspondendo apenas 6,05% da área total da bacia. A VER mostrou que 69,5% dos fragmentos foram classificados como de alta vulnerabilidade e através da análise da conectividade observou-se que os fragmentos estão isolados na paisagem, distanciados entre

si aproximadamente 383 metros, além disso, os mesmos possuem o tamanho médio de 5,8 ha apresentando formato irregular em todas as classes de tamanho. De acordo com o cenário encontrado é possível concluir que a área em estudo está passível à perda da biodiversidade e, além disso, os recursos hídricos desta bacia também estarão comprometidos devido a redução das suas áreas de florestas nativas.

**Palavras-chave:** Ecologia de paisagem. Métricas da paisagem. Floresta tropical.

### **ANALYSIS OF FOREST FRAGMENTATION OF THE CATU RIVER HYDROGRAPHIC BASIN, BAHIA STATE-BRAZIL**

**Abstract:** The present study evaluated the landscape structure of the Catu river watershed, through the analysis of the degree of forest fragmentation through the indices and metrics of the landscape. In this perspective, to delimit the forest fragments, the technique of photointerpretation of orthophoto image year 2011 in a GIS environment (Geographical Information System), ArcGis 10.1 was used. The analyzes were carried out through the calculation of the relative vulnerability of patches (VER), structural connectivity from the expansion of edges in simulated scenarios, in addition to the verification of the fragments found in the landscape through the Patch Analyst 5.0 metrics, namely: Edge Metrics (TE), Area (CA and ZELAND), Proximity (MNN), Density (Nump, MPS, PSSD and Pscov) and Shape (MSI). In an area of 42,556 hectares, 441 fragments were verified, totaling 2,577 hectares, corresponding to only 6.05% of the total area of the basin. The VER showed that 69.5% of the fragments were classified as highly vulnerable and, through the connectivity analysis, it was observed that the fragments are isolated in the landscape, distanced from each other approximately 383 meters, in addition, they have the same size average of 5.8 ha presenting irregular shape in all size classes. According to the scenario found, it is possible to conclude that the area under study is susceptible to the loss of biodiversity and, in addition, the water resources of this basin will also be compromised due to the reduction of its native forest areas.

**Keywords:** Landscape ecology. Landscape metrics. Tropical forest.

### **ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO CATU, ESTADO DE BAHIA-BRASIL**

**Resumen:** El presente estudio evaluó la estructura del paisaje de la cuenca del río Catu, a través del análisis del grado de fragmentación del bosque a través de los índices y métricas del paisaje. En esta perspectiva, para delimitar los fragmentos de bosque se utilizó la técnica de fotointerpretación de imagen ortofoto año 2011 en un ambiente SIG (Sistema de Información Geográfica), ArcGis 10.1. Los análisis se realizaron a través del cálculo de la vulnerabilidad relativa de parches (VER), conectividad estructural a partir de la expansión de bordes en escenarios simulados, además de la verificación de los fragmentos encontrados en el paisaje a través de las métricas de Patch Analyst 5.0, a saber: Métricas de borde (TE), Área (CA y ZELAND), Proximidad (MNN), Densidad (Nump, MPS, PSSD y Pscov) y Forma (MSI). En un área de 42.556 hectáreas se verificaron 441 fragmentos, totalizando 2.577 hectáreas, correspondientes a solo el 6,05% del área total de la cuenca. El VER arrojó que el 69.5% de los fragmentos fueron clasificados como altamente vulnerables y, a través del análisis de conectividad, se observó que los fragmentos se encuentran aislados en el paisaje, distanciados entre sí aproximadamente 383 metros, además, tienen el mismo tamaño promedio de 5,8 ha presentando forma irregular en todas las clases de tamaño. De acuerdo al escenario encontrado, es posible concluir que el área en estudio es susceptible a la pérdida de

biodiversidad y, además, los recursos hídricos de esta cuenca también se verán comprometidos por la reducción de sus áreas de bos-que nativo.

**Palabras clave:** Ecología del paisaje. Métricas de paisaje. Bosque tropical.

## INTRODUÇÃO

A fragmentação de habitats é um processo cuja extensão de área florestal é reduzida em manchas, separadas geograficamente por uma matriz diferente do original. Processo este citado como uma das causas globais de redução da biodiversidade (MARJAKANGAS *et al.*, 2020; WILCOVE *et al.*, 1986).

Trata-se de um conjunto de alterações provenientes de ações naturais e antrópicas, que provoca simultaneamente uma série de modificações ecossistêmicas e, em bacias hidrográficas, pode culminar na redução da área de habitat e dinâmica entre espécies, bem como no aumento do isolamento das manchas remanescentes (HAGEN *et al.*, 2012; MORAES *et al.*, 2015).

Ao fragmentar uma área contínua de floresta, as áreas de borda aumentam, que por sua vez provoca alteração do microclima proveniente do aumento do regime de ventos e luminosidade que penetram com maior facilidade na borda da floresta (RICHARD; PRIMACK; MORRINSON, 2013), influenciando a dinâmica das populações animais e vegetais pelo aumento da mortalidade (FISCHER *et al.*, 2021).

No intuito de avaliar a quantidade e qualidade de habitat disponível, a ecologia de paisagem surge com a tarefa de entender as implicações deste processo de forma técnica através dos índices e métricas da paisagem (GUARIZ; GUARIZ, 2020; SIQUEIRA *et al.*, 2013). Tais índices têm como objetivo descrever a composição e configuração espacial, elementos fundamentais para avaliação da paisagem e da qualidade destas áreas como habitat (MCGARIGAL; CUSHMAN; ENE, 2012).

Dessa forma, as métricas da ecologia de paisagem, auxiliam no entendimento da configuração da paisagem (CHAKRABORTY *et al.*, 2017; JESUS *et al.*, 2015). Essas métricas representam um reconhecimento de que as propriedades ecológicas de um *patch* (mancha) são influenciadas pela vizinhança circundante (efeitos de borda) e que a magnitude dessas influências é afetada pelo tamanho e forma do *patch* (mancha) (McGARIGAL; MARKS, 1995), elementos condicionantes dos processos ecológicos (CHAKRABORTY *et al.*, 2017; JESUS *et al.*, 2015; SAITO *et al.*, 2016).

As métricas da paisagem vêm sendo amplamente utilizadas em estudos ecológicos com o objetivo de mensurar a fragmentação florestal, para estabelecer quantitativamente o

grau das alterações e integridade ecológica em bacias hidrográficas (ANDRADE *et al.*, 2020; FERNANDES; FERNANDES, 2017).

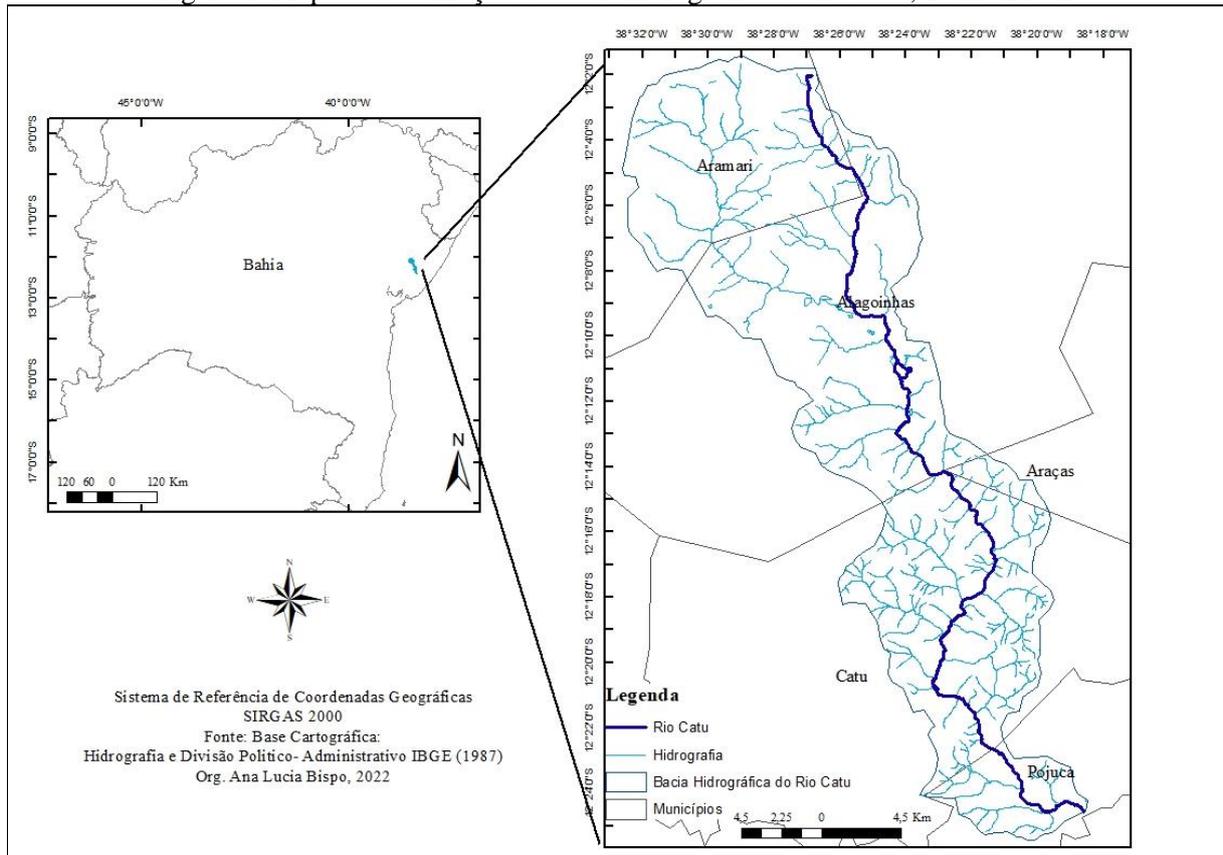
Logo, avaliações que integram dados obtidos neste âmbito, poderão robustecer as estratégias de planejamento e tomada de decisão, principalmente em se tratando de ações de cunho conservacionista. Nesta perspectiva, o presente estudo tem como objetivo avaliar a estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Catu, estado da Bahia, Brasil, através da análise do grau de fragmentação florestal por meio dos índices e métricas da paisagem.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do rio Catu, inserida entre as coordenadas 12° 01' e 12° 24' Latitude Sul e 38° 18' e 38° 30' Longitude Oeste, está situada na bacia hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe, abrangendo os municípios de Aramari, Alagoinhas, Catu, Araçás e Pojuca (Figura 1), é uma área de 425 Km<sup>2</sup>. O rio Catu nasce na cidade de Aramari, percorre 62,2 km, desaguando na cidade de Pojuca, mais especificamente na margem esquerda do rio Pojuca. O rio Catu, nas últimas décadas passou por alterações ao longo de sua extensão devido ao despejo de esgoto no leito devido ao crescimento urbano desorganizado, além da exploração dos recursos por particulares através do represamento do curso d'água para criação de balneários, e irrigação de cultivos temporários e agricultura de subsistência (RIBEIRO, 2011).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Catu, Bahia-Brasil



Fonte: Organizado pelos autores (2022).

Segundo a classificação de Köppen a área possui um Clima tropical úmido a super úmido, com temperatura média superior a 18°C. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores no período de março a agosto, ultrapassando o total de 1.500 mm anuais. Nos meses mais quentes entre janeiro e fevereiro, as temperaturas alcançam valores que oscilam entre 24 a 25°C (EMBRAPA, 2017).

A área de estudo apresenta remanescentes de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional, manchas de Cerrado e áreas de ecótono, onde atualmente possui 9,72% de cobertura vegetal (SOS MATA ATLANTICA, 2021). Esta bacia hidrográfica encontra-se fortemente antropizada, formando mosaicos com áreas de pastagens, agrícolas e urbanizadas misturadas com tais remanescentes (EMBRAPA, 2017).

## MÉTODO DE ESTUDO

### Mapeamento

O mapeamento dos fragmentos florestais presentes na bacia hidrográfica do rio Catu foi realizado a partir da fotointerpretação de imagens Ortofotos de 2011, disponibilizadas pelo Catálogo de imagem INPE (Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais), geoprocessadas em

ambiente (SIG) Sistema de Informação Geográfica no software ArcGis 10.1, licença MLK 92, contrato nº 2014. Após a vetorização dos polígonos (fragmentos), estes foram classificados de acordo com o tamanho e grau de isolamento na paisagem e, em seguida calculado o índice VER (Vulnerabilidade Ecológica Relativa) e a conectividade estrutural Pires *et al.* (2004).

Foi utilizada a base vetorial cartográfica de hidrografia e municipal, na escala 1: 50.000 do (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e de vegetação da (DDF) Diretoria de Desenvolvimento Florestal, cedidas pelo (INEMA) Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Bahia.

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada através da extensão Hydrology do ArcGis 10.1 (ESRI, 2006) com base na imagem de radar ASTER, proveniente do satélite TERRA, lançado pela NASA em 1999, com resolução espacial de 30 metros. Foi adotado o Sistema de Referência de Coordenadas Geográficas, SIRGAS 2000.

## **Análise Estrutural da paisagem**

### **Índices e métricas**

Foram utilizadas as métricas da paisagem espacialmente explícitas ao nível de manchas e paisagem, como: Tamanho (CA e ZELAND), Forma (MSI), métricas de borda (TE), Proximidade (MNN) e Densidade (NUMP, MPS, PSSD e Pscov) calculados pela extensão Patch Analyst 5.0 (Analisador de Manchas) na plataforma do ArcGIS 10.1 (ESRI, 2006). Tais métricas foram escolhidas com o objetivo de mensurar quantitativamente a qualidade do habitat disponível para as espécies, esta informação está contida na tabela 1.

Tabela 1. Métricas e Índices utilizados para composição da paisagem no *Patch Analyst*

Índices	Siglas	Unidade	Significado espacial
Área	CA	Hectare (ha)	Somatório das áreas de todas as manchas presentes na área.
	ZLAND	Porcentagem (%)	Porcentagem de ocupação por classe de área
Forma	MSI	Adimensional	Formato circular possui valor próximo a 1. Formato irregular, valor distantes de 1.
	NUMP	Adimensional	Número total de manchas na paisagem ou na classe
Densidade	MPS	Hectare (ha)	Soma do tamanho das manchas dividido pelo número de manchas
	PSSD	Hectare (ha)	Razão da variância do tamanho das manchas
	PScov	Porcentagem %	Desvio padrão do tamanho da mancha dividido pelo tamanho médio da mancha, multiplicado por 100.
Isolamento	MNN	Metros (m)	A distância média de um fragmento “f” estudado a todos os fragmentos “g” de uma região no entorno de “f”.
	TE	Metros (m)	Soma de perímetro de todas as manchas
Borda			

Fonte: McGarigal; Marks (1995) *apud* Pirovani (2010).

### Vulnerabilidade Ecológica Relativa-VER

Para analisar o grau de vulnerabilidade, ou seja, o risco de perda da biodiversidade em cada fragmento foi adotada a metodologia proposta por Pires *et al.* (2004). A Vulnerabilidade Ecológica Relativa (VER) pode ser entendida como o grau de exposição do fragmento aos efeitos de borda, portanto, quanto maior o grau de vulnerabilidade significa que mais exposto está o fragmento à pressão da borda (PIRES *et al.*, 2004).

O índice VER foi calculado a partir da relação interior/borda, delimitando para o cálculo da borda uma faixa de 30 metros para o interior de cada polígono, considerando-se o restante da área como interior. Os fragmentos foram considerados com menor VER quando a relação interior/borda for superior a 5, e quando o valor estiver entre 2,5 e 5, considera-se como de média vulnerabilidade, e abaixo de 2,5 como de baixa vulnerabilidade.

## **Conectividade estrutural da Paisagem**

A análise do grau de isolamento dos fragmentos foi realizada através da simulação de cenários onde as bordas dos fragmentos foram expandidas em distâncias previamente determinadas (D) de: 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 350 metros, como proposto por Ranta *et al.* (1998).

Os fragmentos foram considerados isolados quando, a uma distância D, não havia sobreposição de sua borda à de outro, e considerado conectado quando as bordas de dois fragmentos ou mais foram sobrepostas (RANTA *et al.*, 1998). Este método permite a mensuração do isolamento dos fragmentos encontrados na bacia, e supõe-se que os fragmentos podem ser reconectados no cenário real, situação que provavelmente favorece o reestabelecimento dos processos ecológicos na área.

O índice de proximidade (MNN) foi calculado através do Patch Analyst 5.0, com a finalidade de analisar o grau de isolamento entre os fragmentos inseridos na paisagem, de forma a verificar especificamente a distância entre as manchas, complementando a análise anterior. Para uma melhor precisão nos cálculos, foram utilizados os formatos vetoriais e grid.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A bacia hidrográfica do rio Catu possui uma área de 42.556ha, dos quais 2.576,9ha (CA) são ocupados por vegetação nativa, representando apenas 6,05% do total da área. Desta forma, foi possível contabilizar 441 manchas de vegetação (NUMP), sendo a maior de 91,7 ha e a menor com 0,06 ha. A tabela 2 apresenta a distribuição dos fragmentos por classe de tamanho.

Tabela 2. Análise dos fragmentos mapeados da bacia hidrográfica do rio Catu, em classes de tamanho

<b>Classe de tamanho (ha)</b>	<b>Números de fragmentos (NUMP)</b>	<b>Total de fragmentos%</b>	<b>% Área de ocupação (ZLAND)</b>	<b>Tamanho médio dos fragmentos (ha) (MPS)</b>
<b>I (0 - 5)</b>	311	70,5	15	1,60
<b>II (5 - 10)</b>	58	13,2	11,3	7.13
<b>III (10 -25)</b>	50	11,3	27,4	15,92
<b>IV (25 - 50)</b>	18	4,1	29,8	35,05
<b>V (50 - 100)</b>	4	0,9	16,5	67,96
<b>TOTAL</b>	441	100	100	----

Fonte: Jesus *et al.* (2015).

A paisagem na bacia hidrográfica do rio Catu se encontra muito fragmentada, e assim, vulnerável aos efeitos de borda por possuir muitos fragmentos de tamanho reduzidos. A classe de tamanho menor que 5, hectares possui maior número de fragmentos (NUMP= 311 manchas), representando 70,5% dos fragmentos; a classe de tamanho entre 5 e 10 hectares possui 58 fragmentos, correspondendo a 13,2%. Tais dados confirmam a fragmentação e diminuição do tamanho destas unidades na bacia do rio Catu.

A fragmentação compromete diretamente a qualidade do habitat, pois aumenta a possibilidade dos efeitos de borda. Neste caso, quanto menor a razão interior-margem, maior possibilidade de alteração das condições microclimáticas e populacionais que causarão possíveis extinções locais e efeitos significativos na estrutura das comunidades e nos processos ecológicos a longo prazo (FISCHER *et al.*, 2021; PRIMACK; RODRIGUES, 2001; RANTA *et al.*, 1998).

A relação inversa entre o número de fragmentos e a área de ocupação dos fragmentos nas diferentes classes de tamanhos (ZLAND) pode ser verificada também na Tabela 02 apresentada anteriormente. Observa-se que apesar de se destacar em relação ao número de manchas, a classe de tamanho até 5 hectares possui a menor área de ocupação, correspondendo a apenas 15 % da área ocupada por todos os fragmentos na bacia hidrográfica.

A classe de maior ocupação foi de 20 a 25 ha, com 18 fragmentos, correspondendo a 29,81% da área ocupada. Já a classe de tamanho entre 50 e 100 ha possui o valor de ocupação de 16,5%, com apenas 4 manchas maiores que 50 hectares, com o maior fragmento possuindo 91,7 ha. Os dados confirmam a extrema fragmentação e redução do tamanho do habitat florestal, bem como a sua vulnerabilidade aos efeitos de borda.

Laurance (1997) ressalta a importância do tamanho dos fragmentos em relação ao seu valor de conservação, já que fragmentos menores de 300 ha apresentam baixo valor de conservação. No caso da bacia do rio Catu, não foi registrado nenhum fragmento com este tamanho, o que é muito preocupante.

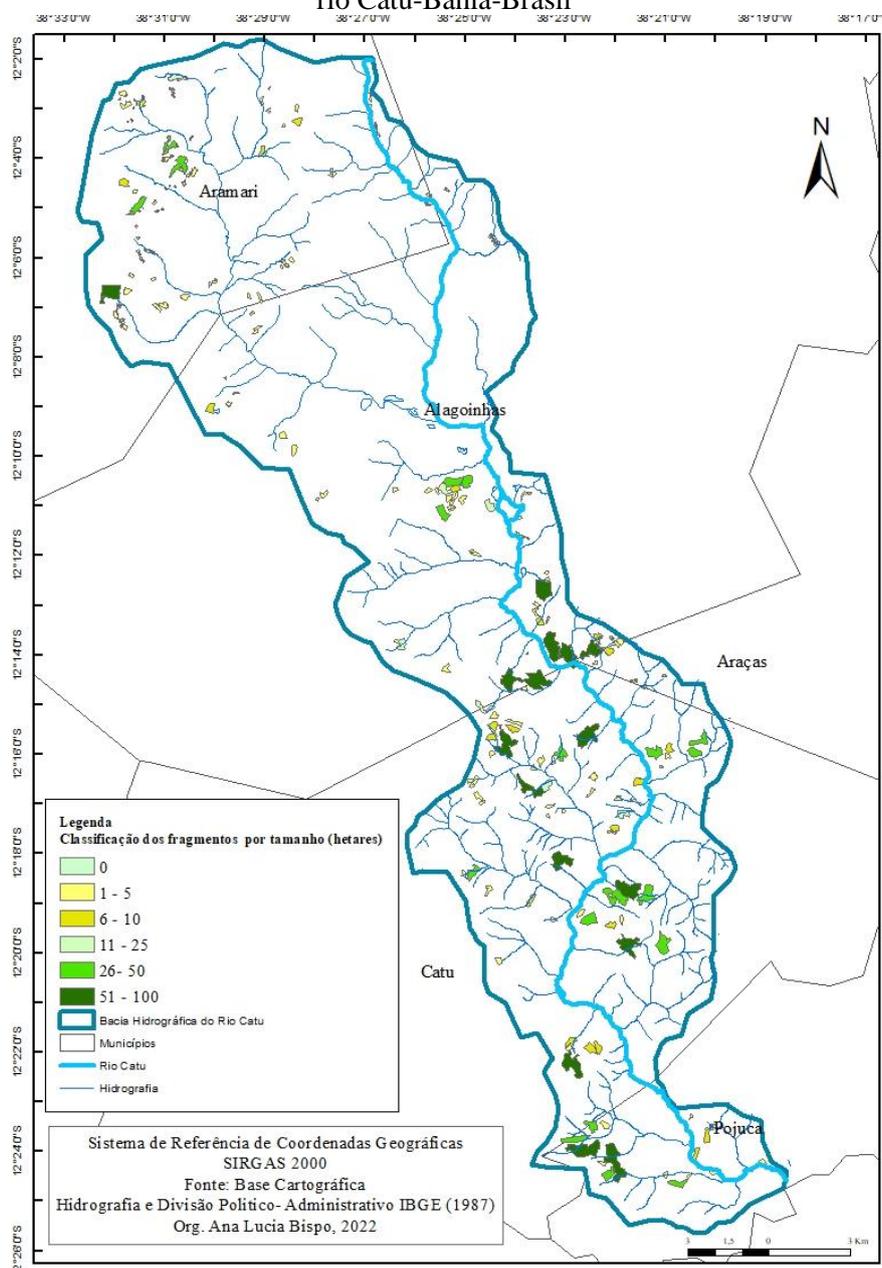
Em relação ao tamanho médio (MPS) das manchas florestadas, foi encontrado o valor médio de 5,8 hectares em relação à paisagem, com o desvio padrão (PSSD) de 10 ha e coeficiente de variação (PSCOV) de 171,4%, indicando a existência de fragmentos com valores muito discrepantes, tanto abaixo quanto acima da média. O tamanho médio em relação às classes de tamanho está apresentado na tabela 2 acima.

Valores semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Fernandes *et al.* (2017), Jesus *et al.* (2015), Silva *et al.* (2015) e Souza *et al.* (2014) em outras bacias hidrográficas, que mostram a relação inversa entre o número de fragmentos e a área de ocupação e

verificaram a presença de fragmentos com tamanho reduzidos com dimensões menores que 5 hectares e isolados, caracterizando avançado processo de fragmentação, ressaltando, porém, que mesmo com valores mínimos em extensão, estes remanescentes podem exercer um papel fundamental na conservação da biodiversidade.

Dados da fundação SOS Mata Atlântica (2021) mostram que a Mata Atlântica vem sendo drasticamente reduzida ao longo dos anos. O município de Alagoinhas, por exemplo, possui 399 ha em área de floresta, representando 0,53% da vegetação original, situação que afeta diretamente a manutenção dos recursos hídricos e biodiversidade desta área (Figura 2).

Figura 2. Localização e classificação de tamanho dos fragmentos encontrados na bacia hidrográfica do rio Catu-Bahia-Brasil



Fonte: Autor (2022).

A vulnerabilidade dos fragmentos está diretamente relacionada ao tamanho destes, uma vez que o tamanho do habitat influencia diretamente a qualidade do habitat e sobrevivência das espécies, partindo do pressuposto que a fragmentação proporciona uma mudança drástica tanto em termos de alterações no ambiente físico, quanto mudanças na estrutura das comunidades, determinando a riqueza, abundância e diversidade nos remanescentes de habitats, que estão diretamente relacionadas ao tamanho, forma e posição da mancha inserida na paisagem (GUARIZ; GUARIZ, 2020; MORAES *et al.*, 2012; MURCIA, 1995).

O grau de exposição do fragmento aos efeitos de borda foi avaliado pelo índice Vulnerabilidade Ecológica Relativa (VER), proposto por Pires *et al.* (2004), que utiliza a relação interior/ borda dos fragmentos, como mostra a tabela 3 a seguir:

Tabela 3. Análise da Vulnerabilidade Ecológica Relativa dos fragmentos da bacia hidrográfica do rio Catu, Alagoinhas-Bahia-Brasil

VER	Classe	Nº fragmento	%
<2,5	Alta	306	64,4
>2,5 frag<5	Média	15	4,6
<5	Baixa	2	0,6
Não calculado*	—	118	26,8
<b>Total</b>	—	441	100

\* Número de fragmentos que, devido ao tamanho e/ou geometria, não puderam ter a relação interior/borda calculada.

Fonte: Pires *et al.* (2004).

Os valores encontrados mostram que as manchas da paisagem estão totalmente vulneráveis a perda da biodiversidade, visto que 69,4% dos fragmentos possuem alta vulnerabilidade, ou seja, os fragmentos analisados possuem mais área de borda quando comparados a área núcleo (área core), neste caso, não disponibilizam habitat favorável para abrigo das espécies menos plásticas, espécies que não conseguem se adaptar as alterações do ambiente.

Na paisagem estudada, apenas 2 fragmentos apresentaram valor maior que 5, considerado de baixa vulnerabilidade. Estes fragmentos, considerados áreas naturais de alto valor para conservação, podem ser entendidos como “área fonte”, ou seja, habitats que disponibilizam recursos e área favorável para sobrevivência das espécies conseguindo manter, teoricamente, populações maiores. Por outro lado, 26,8% dos fragmentos mapeados na área de estudo não obtiveram tamanho suficiente para que ocorresse a delimitação de 30 metros de

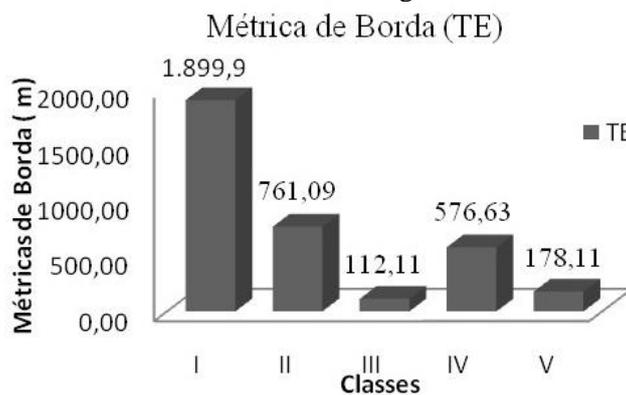
borda, indicando que estas manchas/fragmentos não disponibilizam área interna.

Juvanhol *et al.* (2011) ressaltam que o aumento da relação perímetro/área e a diminuição do tamanho do fragmento, torna o habitat disponível totalmente alterado pelos prováveis efeitos de borda, sob influência da matriz circundante.

Dentre as alterações abióticas na borda, podem ser citadas o aumento na temperatura e luminosidade. Estes dois fatores propiciará a invasão de espécies pioneiras que irão competir com as espécies nativas, além das possíveis extinções de espécies adaptadas ao clima ameno e menor luminosidade (LAURANCE; VASCONCELOS, 2009; PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Campos *et al.* (2018); Guariz; Guariz, (2020); Young; Mitchell (1994) ressaltam que estas mudanças abióticas (radiação solar, umidade e padrões de vento) são prejudiciais para muitos organismos.

Em relação a área de borda nos fragmentos, a classe I (0-5), obteve maior extensão com 1.899,9 metros, devido ao grande número de fragmentos, como mostra a figura 3. Esses resultados apontam para um menor efeito de borda nos fragmentos maiores indicando maior grau de conservação, enquanto que nos fragmentos menores, a transição entre o fragmento e a matriz é muito mais abrupta, criando assim uma borda mais exposta às condições encontradas nas adjacências, tornando-os mais susceptíveis aos efeitos de borda (AZEVEDO; GOMES; MORAES, 2016).

Figura 3. Área de borda nas classes de tamanho dos fragmentos na bacia hidrográfica do rio Catu



Fonte: Autor (2022).

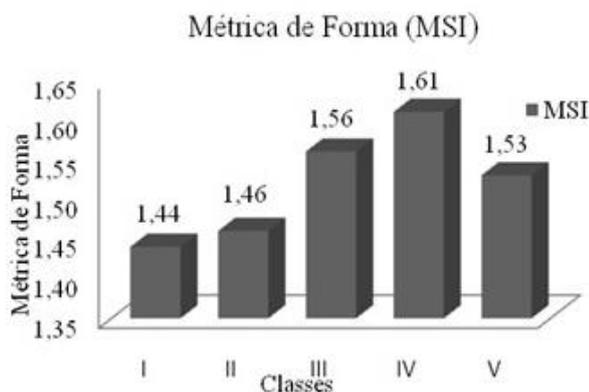
Além do tamanho dos fragmentos, o índice de forma é um fator importante para avaliar o efeito de borda, visto que fragmentos com formas irregulares tendem a possuir maior extensão de borda, quando comparados a fragmentos circulares, logo, estas condições implicam em maiores alterações nestas áreas (GIMENES; ANJOS, 2008; MORAES *et al.*, 2015). Com a redução de tamanho ou irregularidade na forma das manchas, e consequente

aumento da borda, espécies generalistas estabelecem e tendem a competir com as espécies nativas das áreas (SILVA; SOUZA, 2014), alterando os processos ecológicos da área.

O índice de forma (MSI) considera a relação entre perímetro e área do fragmento, sendo que quando o valor obtido for maior que 1 mais alongado será o fragmento, a distância entre o núcleo e a borda será menor, e mais suscetível será ao efeito de borda. Quando o valor for igual a 1 o formato é circular, apresentando maior distância entre a área interna e a borda, reduzindo o provável efeito de borda na área.

No que se refere à forma (MSI) dos fragmentos da bacia hidrográfica do rio Catu, foi encontrado o valor médio em relação à paisagem de 1,47, indicando formatos irregulares. A classe que apresentou maior irregularidade foi a classe IV, quando comparada às outras classes, com maior valor de MSI (1,61). A classe I (0-5 ha) possui fragmentos com menor irregularidade (MSI= 1,44), porém, ainda está distante do formato mais circular, ver figura 4.

Figura 4. Métricas de forma dos fragmentos da bacia hidrográfica do rio Catu



Fonte: Autor (2022).

Verificou-se, portanto, que as manchas/fragmentos em todas as classes de tamanho tendem ao formato menos circular, inclusive na maior classe de tamanho (>100 ha), resultados estes compartilhados por outros autores (HENTZ *et al.*, 2015; JUVANHOL *et al.*, 2011; MORAES *et al.*, 2012), ressaltam o fato que estes fragmentos tendem a estar sob influência direta do efeito de borda (HENTZ *et al.*, 2015).

Fragmentos maiores são importantes por disponibilizarem área central maior, onde o efeito de borda provavelmente é menos expressivo. Este ambiente pode proporcionar habitat favorável às espécies, exercendo um importante papel na manutenção e conservação da biodiversidade (CAMPOS *et al.*, 2018). Por outro lado, os fragmentos menores quando bem conectados podem ser importantes na paisagem, pois funcionam como trampolins ecológicos, unidade facilitadora da dispersão de espécies, caso as condições de conectividade sejam

viáveis (WINAGRASKI, *et al.*, 2018).

Apesar da bacia do rio Catu apresentar uma paisagem fragmentada, os fragmentos ao serem analisados sem diferenciação de tamanho, possuem uma distância relativamente pequena entre eles. Os resultados encontrados na simulação com a expansão das bordas dos fragmentos em 30m, mostraram que 62,3% foram conectados indicando a possibilidade de reversão do isolamento dos fragmentos na área de estudo, uma vez que estas unidades podem manter a conexão física e biológica entre si.

Vale salientar que os dois maiores fragmentos, com menor vulnerabilidade ecológica relativa, continuaram isolados somente a partir da distância de 150m. Nesta distância, ocorreu ainda a conexão destes dois fragmentos com 36 fragmentos menores, formando um arquipélago de tamanho considerável, reestabelecendo a conectividade estrutural e possíveis processos ecológicos na área.

Estes dados mostram um risco elevado no que tange a dispersão para espécies com menor capacidade de deslocamento. Ao complementar a análise anterior, a distância média do vizinho mais próximo (MNN), em relação à paisagem, foi de 383m, quantitativo este confirmado através da simulação de cenários, onde 97,9% dos fragmentos se conectaram a distância de 350m.

A condição de isolamento entre as manchas interfere significativamente nos processos ecológicos, pois, além de ficarem detidas no fragmento, algumas espécies não poderão dispersar-se na paisagem pelo fato de não conseguirem atravessar a matriz inóspita, menos permeável (WINAGRASKI *et al.*, 2018).

É importante salientar que medidas para reestabelecimento da conectividade estrutural entre as manchas devem ser tomadas, dentre elas podemos citar a criação de corredores ecológicos em matas ciliares e encostas, aumentando a percolação na paisagem. Portanto, restabelecer a conectividade da paisagem, é uma ação importante para a conservação dos processos ecológicos, uma vez que esta iniciativa é prevista por lei (VIANA; PINHEIRO, 1998; WINAGRASKI, *et al.*, 2018).

## CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste estudo indicam que a bacia hidrográfica do rio Catu se encontra vulnerável a perda de biodiversidade, apresentando tamanho reduzido e formato irregular. Os valores de Vulnerabilidade Ecológica Relativa-VER confirmam a extrema fragmentação, redução do habitat e aumento da área de borda.

Assim, 70,5% dos fragmentos possuem áreas menores que 5 hectares, e 69,4% de

remanescentes apresentam alta vulnerabilidade ecológica relativa, significando que a maioria dos fragmentos provavelmente encontram-se em condições inadequadas para abrigar espécies. Entretanto, apesar dos fragmentos menores estarem altamente vulneráveis, os fragmentos florestais da bacia do rio Catu, possuem uma conectividade significativa, já que a partir da expansão da borda de 30 metros foram conectados mais da metade dos fragmentos.

Através da simulação de cenários, os dois fragmentos maiores, considerados habitats fontes, foram conectados a distância de 150m, com 36 fragmentos menores.

Conclui-se que a paisagem na bacia hidrográfica do rio Catu, está passível a perda da biodiversidade e, além disso, os recursos hídricos desta bacia também estarão comprometidos pela redução das suas áreas de florestas nativas.

Existe a possibilidade de aumentar a conectividade de fragmentos maiores e fragmentos através de ações de restauração de matas ciliares, sendo também possível a conexão utilizando os fragmentos menores como trampolins ecológicos (*stepping stones*). Neste caso, a política de reestabelecimento e preservação de matas ciliares, aliado a educação ambiental da população pode iniciar uma mudança na paisagem.

Por fim, a continuidade da pesquisa é fundamental na investigação da paisagem da bacia hidrográfica do rio Catu, uma vez que esta área carece de estudos ecológicos embasados cientificamente sobre a situação da paisagem em investigada. Além disso, este estudo pode servir como referencial para os próximos estudos relacionados a mesma temática.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.S.; RIBEIRO, S.C.A.; PEREIRA, B.W.F.; BRANDÃO, V.V.P. Vegetation fragmentation of Marapanim River watershed, northeastern of Pará state. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p.406-420, abr./jun. 2020.

AZEVEDO, D. G.; GOMES, R. L.; MORAES, M. E. B. Estudos da fragmentação da paisagem na definição de áreas prioritárias para a recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio buranhém. **Boletim da geografia**, Maringá, v. 34, n. 2, p.127-144, 23 dez. 2016.

CAMPOS, J.O.; SANTOS, J.S.; SALVADOR, M.S.S.; LIMA, V.R.P. Analysis and propagation of effect of edge in the state park mata do Pau-Ferro, Areia- PB. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s.l.], v.12, n. 2, p. 21– 36, 2 jul. 2018.

CHAKRABORTY, A.; GHOSH, A.; SACHDEVA, K.; JOSHI, P. K. Characterizing fragmentation trends of the Himalayan forests in the Kumaon region of Uttarakhand, India. **Ecological Informatics**, [s.l.], v. 38, n.1, p. 95–109, mar. 2017.

EMBRAPA. Clima. Página inicial. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 31 Jul. 2017.

ESRI. Disponível em: <<https://appsforms.esri.com/products/download/>>. Acesso em 15 nov. 2022.

FERNANDES, M.M.; FERNANDES, M.R.M. Spatial Analysis of Forest Fragmentation of Ubá Watershed- RJ State. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1429-1439, dez. 2017.

FISCHER, R.; TAUBERT, F.; MULLER, M.S.; GROENEVELD, J.; LEHMANN, S.; WIEGAND, T.; HUTH, A. Accelerated Forest Fragmentation Leads To Critical Increase In Tropical Forest Edge Area. **Science Advances**, [s.l.], v. 7, n. 37, 08 set. 2021.

GIMENES, M. R.; ANJOS, L. Efeitos da fragmentação florestal sobre as comunidades de aves. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 391-402, 17 jul. 2008.

GUARIZ, H.R.; GUARIZ, F.R. Avaliação do Tamanho e Forma de Fragmentos Florestais por Meio de Métricas de Paisagem para o Município de São Roque do Canaã, Noroeste do Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v.13, n. 5, p. 2139-2153, 13 jul. 2021.

HAGEN, M.; KISSLING, W.D.; RASMUSSEN, C.; AGUIAR, M.A.M.; BROWN, L.E.; CARSTENSEN, D.W.; OLESEN, J.M. Biodiversidade, interações entre espécies e redes ecológicas em um mundo fragmentado. **Mudança global em sistemas multiespécies**, [s.l.], v. 1, p. 89–210, 2012.

INPE/ DPI. Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada. 2014. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/DPI/>> . Acesso em: 11 nov. 2021

JESUS, E. N.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G.; SANTOS, T. I. S.; ROCHA, S. L. Estrutura dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do rio Poxim- SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 467-474, jun. 2015.

JUVANHOL, S. R.; FIELDER, N.C.; SANTOS, A.R.; PIROVANI, D.B.; LOUZADA, F.L.R.O.; DIAS, H.M.; TEBALDI, A.L.C. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v.18, n. 4, p. 353-364, 2011.

HENTZ, A.M.K.; CORTE, A.P.D.; DOUBRAWA, B.; SANQUETA, R. Avaliação da fragmentação dos remanescentes florestais da bacia hidrográfica do rio Iguazu-PR, Brasil. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v.11, n. 21. p.2842, jun. 2015.

LAURANCE, W. Hyper-Disturbed Parks: Edge Effects and the Ecology of Isolated rainforest Reserved in Tropical Australia. In: LAURANCE, W; BIERREGAARD, R. O. (ed). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, p. 33-44, 1997.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, [s.l.], v.13, n. 3, p. 434-451, 2009.

MARJAKANGAS, E.L.; ABREGO, N.; GROGAN, V.; LIMA, R. A. F.; BELLO, C.; BOVENDORP, R. S.; CULOT, L.; HASUI, E.; LIMA, F.; MUYLELAERT, L. A.; PRADO, P. I.; STEVESEN, R. D.; VANCINE, M. H.; RIBEIRO, M. C. Fragmented tropical forests lose mutualistic plant–animal interactions. **Diversity and Distributions**, [s.l.], v. 26, n.1, p.154-168, 17 nov. 2020.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. p.122, 1995.

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. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: out. 2021.

MORAES, M. E. B.; PIMENTA, F. D. S.; SANTANA, L. B.; MENDES, I. B. Análise Métrica da Paisagem na Microbacia do Rio Água Preta do Mocambo, Uruçuca, Sul da Bahia. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**. Fortaleza, v. 9, n. 1, nov. 2015.

MORAES, M. E. B.; GOMES, R. L.; THÉVENIN, J. M. R.; SILVA, G. S.; VIANA, W. R.C.C. Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Almada (BA) com base na fragmentação da

vegetação. **Caminhos de Geografia**, [s.l.], v. 13, n. 41, mar. 2012.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in ecology & evolution**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 58-62, fev. 1995.

PIROVANI, D. B. **Fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2010.

PIRES, J.S.R.; PIRES, A.M.Z.C.R.; SANTOS, J. E. Avaliação da integridade ecológica em bacias hidrográficas. In: SANTOS, E; CAVALHEIRO, F; PIRES, J. S. R; OLIVEIRA, C. H; PIRES, A. M. Z. R. **Faces da polissemia da paisagem**– ecologia, planejamento e percepção. São Carlos, 2004. p.123-150.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. 1 ed. Londrina, PR: 2001, 328 p.

RANTA, P.; BLON, T.; NIEMELÄ, J.; JOENSUU, E.; SIITONEN, M. The fragmented Atlantic Rain Forest of Brazil: Size, Shape and Distribution of Fragments. **Biodiversity and Conservation**, [s.l.], v.7, p. 385-403, mar. 1998.

RIBEIRO, E.S. Análise da Qualidade da Água no Rio Catu da Bacia Hidrográfica do Rio Pojuca-Bahia. 2011. Dissertação (Mestrado em Planejamento Ambiental)- Universidade Católica de Salvador. 2011.

RICHARD, B.; PRIMACK, R.; A. MORRISON. Forest Fragmentation. **Biodiversity**, [s.l.], v. 2, 2013.

SAITO, N.S; ARGUELLO, F.V.P; MOREIRA, M.A; DOS SANTOS, A.R; EUGENIO, F.C; FIGUEIREDO, A.C. Uso das geotecnologias para análise temporal da cobertura florestal. **CERNE**, Lavras, MG. v.22, n.1, p. 11-18, jan./mar. 2016.

SAUNDER, D. A.; HOBBS, R. J.; MAGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, [s.l.], v.5, n. 1, p.18-32, mar. 1991.

SILVA, K. G. D.; SANTOS, A. R. D.; SILVA, A G D.; PELUZIO, J. B. E.; FIEDLER, N. C.; ZANETTI, S. S. Análise da dinâmica espaço- temporal dos fragmentos florestais da sub- bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES. **CERNE**, [s.l.], v.21, n.2, p. 311-318, jun.2015.

SILVA, M. S. F.; SOUZA, R. M. Spatial patterns of forest fragmentation in the Flona Ibura– Sergipe. **Mercator**, Fortaleza, [s.l.], v.13, n.3, p.121-137, ago. 2014.

SIQUEIRA, M. N.; CASTRO, S. S.; FARIA, K. M. S. Geografia e ecologia da paisagem: pontos para discussão. **Sociedade & Natureza**, [s.l.], v.25, n.3, p.557-566, dez. 2013.

SOUZA, C. G.; ZANELLA, L.; BORÉM, R. A. T.; CARVALHO, L. M. T. D.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L. Analysis of forest fragmentation of Coqueiral environmental protection area, in Coqueiral, Minas Gerais State. **Ciência Florestal**, [s.l.], v.24, n.3, p.631-644, jul. 2014.

SOS MATA ATLANTICA. Aqui tem mata?. “Disponível em: <<https://www.aquitemmata.org.br/#/>>”. Acesso em: 03 de novembro de 2021

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, [s.l.], v. 12, n. 32, p. 25-42, dez. 1998.

WILCOVE, D. S.; MCLELLAN, C. H.; DOBSON, A. P. Habitat fragmentation in the temperatezone. In: Soule, M.E. **Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity**. Sinauer Associates, Sunderland, MA, 1986. p. 237–256.

WINAGRASKI, E.; DEUS, K.H. P.; MARCELINO, V.R.; FILHO, P.C.O. Fragmentação Florestal do Entorno da Floresta Nacional de Irati. **Ciência & Natura**, Santa Maria, v. 40, n.14, dez. 2018.

YOUNG, A.; MITCHELL, N. Microclimate and vegetation edge effects in a fragmented podocarp-

broadleaf forest in New Zeland. **Conservation Biology**, v. 64, n.1, p. 63-72, 1994.

### **AGRADECIMENTOS**

A Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra-DCET, Campus II, pelo apoio logístico e Silvana Wenceslau pelo auxílio durante a obtenção e análises dos dados.