



Análise espacial da fragmentação da paisagem: um estudo de caso sobre os fragmentos florestais destinados à Reserva Legal em duas bacias hidrográficas no Estado do Piauí

Spatial analysis of landscape fragmentation: a case study of forest fragments set aside as Legal Reserves in two river basins in the state of Piauí

Análisis espacial de la fragmentación del paisaje: un estudio de caso de fragmentos de bosque apartados como Reservas Legales en dos cuencas fluviales en el estado de Piauí

DOI: 10.55905/oelv22n11-247

Receipt of originals: 10/18/2024

Acceptance for publication: 11/08/2024

Francielson da Silva Barbosa

Mestre em Perícias Criminais Ambientais

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

E-mail: biologofranielson@gmail.com

Maurício Humberto Vancine

Doutor em Ecologia, Evolução e Biodiversidade

Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”

Endereço: Rio Claro, São Paulo, Brasil

E-mail: mauricio.vancine@gmail.com

Milton César Ribeiro

Doutor em Ecologia

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Rio Claro, São Paulo, Brasil

E-mail: miltinho.astronauta@gmail.com

Alexandre Siminski

Doutor em Recursos Genéticos Vegetais

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

E-mail: alexandre.siminski@ufsc.br

RESUMO

Os biomas Cerrado e Caatinga têm sofrido intensos processos de ocupação devido à expansão da fronteira agrícola. Nesse sentido, com o auxílio de geotecnologias foram analisadas as principais classes de uso e ocupação da terra em duas bacias hidrográficas no estado do Piauí, entre os anos de 1985 e 2020, sendo as bacias Canindé no bioma Caatinga e Alto Parnaíba no bioma Cerrado. O objetivo principal foi compreender a dinâmica de uso e ocupação da terra e estrutura fundiária. As análises de uso e ocupação foram obtidas mediante técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica, a partir de imagens da Coleção7 do MapBiomias. Para o cálculo das métricas da Paisagem utilizou-se o complemento Landscape Ecology Statistics (LecoS) no QGIS. As análises demonstraram que as classes de cobertura predominante nas bacias é floresta, seguida da classe agropecuária. Quanto à estrutura fundiária, predominam na bacia Canindé pequenas propriedades, todas com inscrições ativas no Cadastro Ambiental Rural e aguardando análise. Na bacia Alto Parnaíba, o tamanho médio dos imóveis é de 843,67 hectares, com inscrições ativas e apenas 0,5% dos cadastros analisados. Dentre as métricas da paisagem calculadas para os fragmentos florestais superiores a 100 hectares, o valor de formato médio ficou acima de 5 nas duas bacias, indicando a presença de fragmentos irregulares. Ademais, pode-se concluir que ao longo do período observado, as alterações da estrutura da paisagem na bacia Alto Parnaíba foram maiores que as observadas na bacia Canindé, provavelmente em função do tipo de uso e ocupação.

Palavras-chave: Formação Florestal, Pastagem, Fronteira Agrícola, MapBiomias, Métricas da Paisagem.

ABSTRACT

The Cerrado and Caatinga biomes have undergone intense occupation processes due to the expansion of the agricultural frontier. With the help of geotechnologies, the main classes of land use and occupation in two river basins in the state of Piauí were analyzed between 1985 and 2020, the Canindé basin in the Caatinga biome and the Alto Parnaíba basin in the Cerrado biome. The main objective was to understand the dynamics of land use and occupation and land ownership structure. The use and occupation analyses were obtained using Remote Sensing and Geographic Information Systems techniques, based on images from the MapBiomias Collection7. The Landscape Ecology Statistics (LecoS) add-on in QGIS was used to calculate the landscape metrics. The analyses showed that the predominant cover classes in the basins are forest, followed by agriculture. As for the land ownership structure, small properties predominate in the Canindé basin, all of which have active registrations in the Rural Environmental Registry and are awaiting analysis. In the Alto Parnaíba basin, the average property size is 843.67 hectares, with active registrations and only 0.5% of the registrations analyzed. Among the landscape metrics calculated for forest fragments larger than 100 hectares, the average shape value was above 5 in both basins, indicating the presence of irregular fragments. Furthermore, it can be concluded that over the period observed, the changes in landscape structure in the Alto Parnaíba basin were greater than those observed in the Canindé basin, probably due to the type of use and occupation.

Keywords: Forest Formation, Grassland, Agricultural Frontier, MapBiomass, Landscape Metrics.

RESUMEN

Los biomas Cerrado y Caatinga han sufrido intensos procesos de ocupación debido a la expansión de la frontera agrícola. Con la ayuda de geotecnologías, se analizaron las principales clases de uso y ocupación de la tierra en dos cuencas hidrográficas del estado de Piauí entre 1985 y 2020, la cuenca del Canindé en el bioma de la Caatinga y la cuenca del Alto Parnaíba en el bioma del Cerrado. El objetivo principal era comprender la dinámica de uso y ocupación de la tierra y la estructura de la propiedad de la tierra. Los análisis de uso y ocupación se obtuvieron mediante técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, a partir de imágenes de la Colección MapBiomass7. Se utilizó el complemento Landscape Ecology Statistics (LecoS) en QGIS para calcular las métricas del paisaje. Los análisis mostraron que la clase de cobertura predominante en las cuencas es el bosque, seguido de la agricultura. En cuanto a la estructura de la propiedad de la tierra, en la cuenca del Canindé predominan las pequeñas propiedades, todas ellas con inscripciones activas en el Registro Ambiental Rural y pendientes de análisis. En la cuenca del Alto Parnaíba, el tamaño medio de la propiedad es de 843,67 hectáreas, con registros activos y sólo el 0,5% de los registros analizados. Entre las métricas del paisaje calculadas para los fragmentos forestales mayores de 100 hectáreas, el valor medio de la forma fue superior a 5 en ambas cuencas, lo que indica la presencia de fragmentos irregulares. Además, se puede concluir que, a lo largo del período observado, los cambios en la estructura del paisaje en la cuenca del Alto Parnaíba fueron mayores que los observados en la cuenca del Canindé, probablemente debido al tipo de uso y ocupación.

Palabras clave: Formación Forestal, Pastizales, Frontera Agrícola, MapBiomass, Métrica del Paisaje.

1 INTRODUÇÃO

A fragmentação da paisagem e a redução de habitats são os processos que mais ameaçam a biodiversidade e o pleno funcionamento dos ecossistemas terrestres no planeta (Fahrig, 2003; Gottschalk; Santos, 2024). A fragmentação florestal, na sua grande maioria, resulta de sucessivas práticas de uso do solo de forma desordenada, que acaba ocasionando diversos prejuízos às comunidades naturais e provocando modificações significativas nas condições abióticas e bióticas (Thiago; Magalhães; Santos, 2020). Segundo estimativas, a fragmentação dos ecossistemas tem sido responsável pela redução de aproximadamente 13% a 75% da biodiversidade, além dos inúmeros prejuízos

ecossistêmicos como a redução de espécies, de biomassa arbórea, no sequestro de carbono e ciclagem de nutrientes, além da extinção de centenas de espécies devido ao isolamento entre fragmentos e efeitos de borda entre habitats (Costa; Galvão; Gonçalves, 2019).

Buscando normatizar os usos dos recursos naturais, com o objetivo de manter um percentual mínimo preservado em uma posse ou propriedade rural, foi adotada como estratégia regulatória, a partir da edição do Código Federal Brasileiro, a delimitação de Área de Preservação Permanente (APP) e a instituição de Reserva Legal (RL) (Oliveira, 2022). De acordo com essa Lei, todo imóvel ou posse rural deverá manter uma área com cobertura natural a título de RL, sem prejuízos a outras normas, observados os percentuais mínimos em relação à área do imóvel, percentuais esses que variam de 20% e 80%, dependendo do bioma em que se localiza o imóvel rural (Brasil, 2012).

Segundo dados do Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura do Solo do Brasil, MapBiomass, a Caatinga perdeu entre os anos de 1985 e 2020 mais de 10 milhões de hectares (M.ha) de áreas de savana e formação florestal para projetos ligados à agropecuária. O Cerrado por sua vez, considerando esse mesmo intervalo de tempo, perdeu aproximadamente 32,9 M. ha de áreas naturais para os projetos de agricultura e pecuária (Souza; Aquino; Druciaki, 2020). Nesse sentido, a proposição de áreas com vegetação natural, em posses e propriedades rurais, a título de RL tem como função manter a conectividade entre as áreas naturais, garantir o fluxo gênico, proporcionar abrigo à fauna e flora e reabilitar processos ecológicos (Ribeiro; Lima, 2019).

Com o objetivo de melhor compreender e estudar os diferentes padrões espaciais ecológicos, foram criados diversos índices ecológicos capazes de caracterizar paisagens naturais e quantificar a estrutura e padrões espaciais (Yu *et al.*, 2019). As métricas de paisagem, nesse contexto, são equações capazes de descrever quantitativamente a composição estrutural, além da configuração espacial dos elementos de uma paisagem (McGarigal, 1995) como borda, área, densidade, tamanho, área central, dentre outras, apenas para manchas ou para toda a paisagem (Amorim; Sousa; Piroli, 2021).

Nesse contexto, poucos trabalhos sobre Ecologia da Paisagem têm sido realizados, em parte ou na totalidade, nos biomas Caatinga e Cerrado (Silvino, 2021; Lima *et al.*, 2022; Pompeu *et al.*, 2024), diferente do que ocorre com a Mata Atlântica (Santos *et al.*,



2022; Gavioli; Molin; Valente, 2022; Vancine *et al.*, 2024), a qual dispõe de um elevado número de pesquisas voltada à temática. Ademais, é notável a necessidade de mais pesquisas sobre Ecologia da Paisagem em ambientes de Caatinga e Cerrado, pois são, dentre os biomas, os com menores quantidades de estudos, mesmo apresentando características singulares como a elevada quantidade de fragmentos de pequeno tamanho (Souza; Azevedo, 2017).

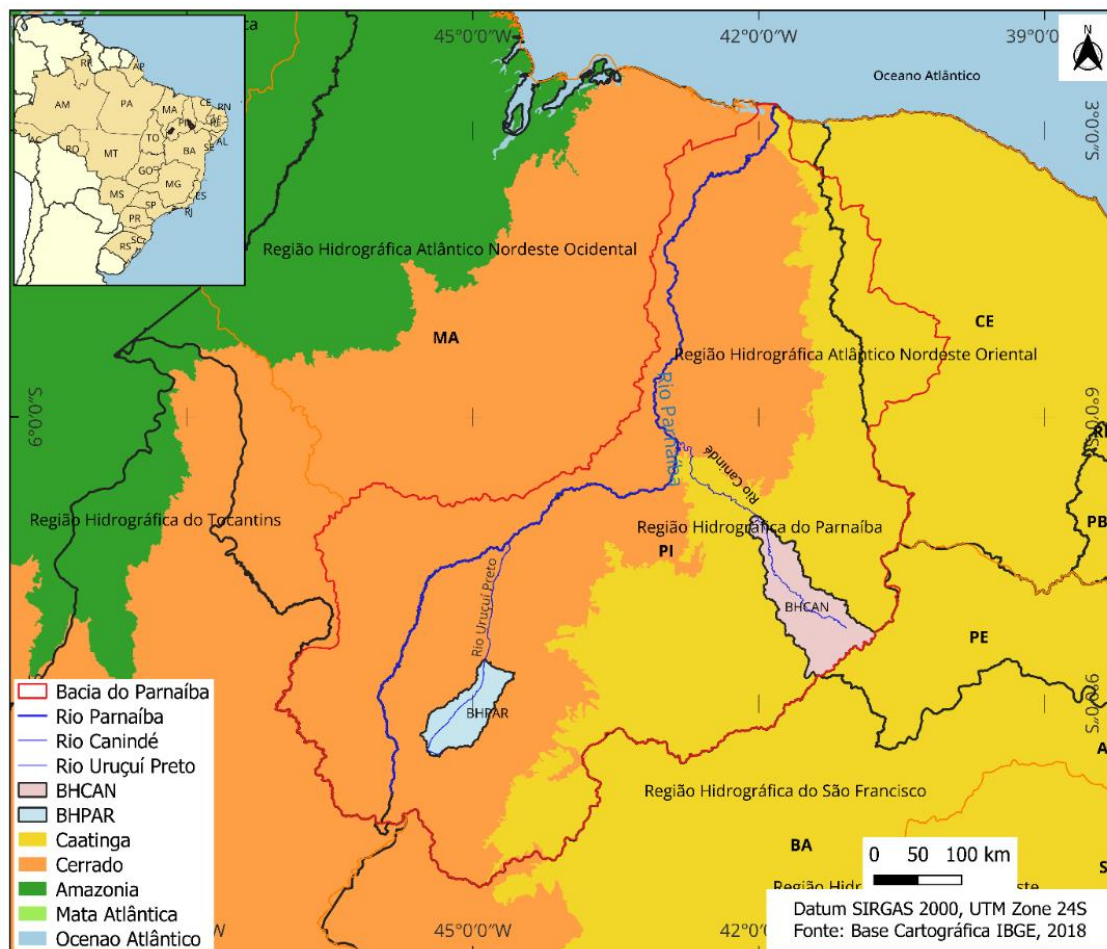
Dessa forma, o presente trabalho reveste-se de grande importância por ser capaz de fornecer os elementos necessários à discussão e futuras pesquisas ambientais em ambientes de Caatinga e Cerrado, com enfoque nos elementos de Ecologia da Paisagem e na delimitação das áreas destinadas como Reserva Legal em imóveis rurais, pois o principal objetivo desse trabalho foi compreender os processos de uso e ocupação da terra que ocasionaram a fragmentação do habitat nas bacias hidrográficas Canindé e Alto Parnaíba, bem como o grau de conservação dos fragmentos florestais que hospedam às áreas destinadas à Reserva Legal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDOS

Este trabalho adotou como área de estudo duas bacias hidrográficas, Figura 1, sendo a bacia Canindé localizada na Caatinga e a bacia Alto Parnaíba no Cerrado, ambas pertencentes a bacia hidrográfica do Parnaíba. A bacia hidrográfica Canindé (BHCAN) possui área total de 10.071,25 km², abrigando as nascentes do rio Canindé, com geomorfologia diversificada, compreendendo desde superfícies aplainadas e conservadas até a ocorrência de topos convexos ligeiramente aguçados com princípios de erosão (Lima; Brandão, 2010). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é tido como quente semiárido (BSh) com estação chuvosa concentrada irregular ao longo dos meses de dezembro a abril e precipitações abaixo de 750 mm, temperatura anual média variando entre 26°C e 35°C e vegetação predominante a do tipo Caatinga (Oliveira; Silva, 2019; Medeiros; Cavalcanti; Medeiros-Duarte, 2020).

Figura 1. Mapa de localização das bacias hidrográficas Canindé e Alto Parnaíba.



Fonte: Os autores (2024).

Com relação à bacia hidrográfica Alto Parnaíba (BHPAR), a mesma localiza-se na região sul do estado do Piauí, com área de 5.218,00 km², na área de influência da MATOPIBA, ou seja, termo este que faz referência ao acrônimo das iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia e concentra os maiores projetos do agronegócio, sobretudo produção de soja e milho (Oliveira; Aquino, 2020). O clima predominante é classificado como quente semiúmido do tipo Aw (Medeiros *et al.*, 2022), com precipitações anuais variando entre 800 e 1.500 mm, concentrada nos meses de novembro e dezembro e de janeiro a abril (Medeiros *et al.*, 2013). A vegetação predominante é

composta, essencialmente, por formações arborizadas e campos de cerrado. Possui relevo predominantemente aplainado e superfícies de baixa altimetria com depressões restritas a pequenas áreas e altitude média em torno de 100 e 400 metros (Leite; Ivanov, 2022).

2.2 MAPEAMENTO DO USO DA TERRA E FRAGMENTOS FLORESTAIS

O mapeamento do uso e cobertura da terra e dos fragmentos florestais das áreas de estudo foram obtidos a partir da obtenção das imagens da Coleção 7 do Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura do Solo do Brasil (MapBiomas), tendo como base o ano de 2020. As imagens foram obtidas a partir do *Toolkit* de download de uso geral, na plataforma de processamento de dados do Google Earth Engine (GEE), aptas para uso, sendo o fragmento mínimo considerado no estudo de 0,09 hectares (900 m²).

De acordo com a classificação estabelecida pelo MapBiomas, a Coleção 7 possui as seguintes classes de uso e cobertura da terra: **Floresta** = Formação Florestal + Formação Savânica; **Formação Natural não Florestal** = Formação Campestre + Afloramento Rochoso; **Agropecuária** = Pastagem + Mosaico de Agricultura e Pastagem + Outras Lavouras Temporárias + Silvicultura; **Área não vegetada** = Área Urbana + Outras Áreas não vegetadas; **Corpo D'água** = Rio, Lago e Oceano.

Por serem áreas relativamente grandes, BHCAN com 10.071,25 km² e BHPAR com 5.218,00 km², optou-se por utilizar as mesmas classes de uso e cobertura da terra já estabelecidas pelo Projeto MapBiomas, uma vez que não representa problemas interpretativos diante do tamanho dos ambientes de estudo. Apenas para fins de cálculo e interpretação das métricas da paisagem, as classes Formação Florestal e Formação Savânica foram reagrupadas como uma única classe de uso, sendo a classe resultante denominada de Formação Florestal. As métricas foram calculadas para o mapa final que continha duas classes: Formação Florestal e não-Florestal (1/0).

Para melhor compreender a configuração dos fragmentos florestais remanescentes, estes foram divididos em classes de diferentes tamanhos, assim sendo: *fragmentos muito pequenos* (<5 hectares); *fragmentos pequenos* (5-10 hectares);

fragmentos médios (10-100 hectares) e *grandes fragmentos* (>100 hectares), conforme adaptado de Jesus *et al.* (2019).

2.3 ANÁLISES DAS MÉTRICAS DA PAISAGEM

Durante os cálculos das métricas de paisagem foram utilizadas quatro configurações de métricas: área; borda; tamanho/densidade e forma. Com relação à métrica de área, a qual engloba os índices de área de classe (CA) e porcentagem de paisagem (%LAND), a primeira expressa o somatório de todas as áreas pertencentes a um determinado fragmento; a última, o percentual de cada classe em relação ao total do local analisado, índices estes essenciais para entender os usos e ocupação da terra em um determinado local de estudo (Fernandes; Silva Pimentel, 2019). Para as métricas de borda, foram calculados o total de bordas (TE), que fornece o valor absoluto do comprimento total de bordas de uma determinada classe. A densidade de bordas (ED) foi calculada em função de facilitar no entendimento da fragmentação da paisagem, uma vez que quanto maior for o valor da densidade de borda (ED), maior será a fragmentação da paisagem.

As métricas de tamanho e densidade foram essenciais neste trabalho por permitirem obter a quantidade de fragmentos de cada classe. A partir do cálculo do índice número de manchas (NumP), foram quantificados o total de fragmentos pertencentes a cada classe; já para determinar o tamanho médio da mancha ou fragmento, calculou-se o tamanho médio da mancha (MPS). De acordo com McGarigal; Cushman (2002), o tamanho médio de um fragmento é um bom indicador sobre o grau de conservação ou não de uma paisagem, haja vista que paisagens com menores índices de tamanho médio dos fragmentos podem ser considerada como uma das mais fragmentadas.

O coeficiente de variação do tamanho da mancha (PScoV) serve para medir a variabilidade do tamanho dos fragmentos, já os índices da métrica de forma são importantes para analisar o formato dos fragmentos. De acordo com o índice de forma média (MSI), quanto mais próximo o resultado for de 1, mais o fragmento se aproxima da regularidade, ou seja, o fragmento tende a ser circular, e conforme esse valor aumenta, a irregularidade também tende a aumentar (McGarigal; Marks, 1995). Por último, com relação à dimensão fractal da mancha média (MPFD), valores próximos de 1 é o

indicativo de fragmentos de formatos com perímetro mais simples e quanto mais próximo de 2, tendem a serem mais complexos (McGarigal; Marks, 1995).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA

A partir das análises dos dados relativos ao uso e ocupação da terra, foi possível identificar as principais classes para as áreas de estudo. Com base nos resultados, Tabela 1, a bacia hidrográfica Canindé (BHCAN) ocupa uma área de 1.007.092,55 hectares (ha), desses a maior parte corresponde à classe Floresta com 62,35% de extensão registrada para o ano de 2020. Ao ser comparado com os dados do ano de 1985, é possível identificar um decréscimo aproximado em 5%, ano em que a classe Floresta ocupava 67,34%.

Nesse sentido, merece atenção entender o que ocasionou a redução da cobertura florestal, principalmente quando essa redução acontece em uma bacia hidrográfica no semiárido, pois geralmente a remoção da cobertura florestal está associada ao desmatamento para plantio de pastagens e/ou agricultura, atividades que na maioria das vezes resulta no aumento da compactação do solo, perda de biodiversidade, fragmentação do habitat e redução do lençol freático, agravando ainda mais a disponibilidade hídrica em ambientes de semiárido (Ferreira *et al.*, 2019).

A segunda classe com maior representatividade na BHCAN é Agropecuária, com 26,39% de ocupação em 2020, ante 23,24% registrado para o ano de 1985. No bioma Caatinga, especialmente no estado do Piauí, a agropecuária tem como foco a agricultura de subsistência e a criação de pequenos animais, como caprinos e ovinos, uma vez que a capacidade de suporte para a criação de bovinos é de uma unidade animal para 13 hectares (Oliveira *et al.*, 2014). Nos municípios, que estão inseridos na BHCAN, predomina a criação de caprinos e ovinos e a agricultura em pequena escala, visto que as condições edafoclimáticas para a região não comporta grandes projetos agropecuários e/ou agrícolas (Lima; Silva; Iwata, 2019). Importante frisar que, dos 26,39% registrado para a classe Agropecuária no ano 2020, aproximadamente 14% referem-se a pastagem e 12% é Agricultura e pastagem, sendo as demais classes pouco significativas, como a presença de silvicultura que registrou apenas uma área de 3 hectares.

Logo, isso pode explicar a pequena evolução da classe Agropecuária ao longo de 35 anos em toda a bacia hidrográfica Canindé, considerando o período entre o ano de 1985 e 2020, uma vez que a criação de pequenos animais depende de menores áreas de pastagem, em comparação à criação de bovinos.

Tabela 1. Classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica Canindé entre 1985 e 2020.

Classes de cobertura da terra	Área em hectares - 1985		% da BHCAN - 1985	Área em hectares - 2020		% da BHCAN - 2020	Variação em hectares - 1985 - 2020
	1985			2020			
Floresta	678.	4	67,3	627.	35	62,	50.
Formação Florestal	159,48	0	0,00	904,38	1	0,0	-
Formação Savânica	28,6	130,88	67,3	627.	34	62,	50.
Formação Natural não Florestal	73.1	09,65	7,26	93.5	9	9,2	-
Formação Campestre	73.1	02,68	7,26	89.6	0	8,9	-
Afloramento Rochoso	6,97		0,00	3,90		0,3	-
Agropecuária	234.	4	23,2	265.	39	26,	-
Pastagem	093,67		7,14	723,33		13,	-
Mosaico	71.9	29,67	7,14	136.	55	13,	-
	162.		16,1	127.		12,	34.



de Agricultura e	141,40	0	981,86	71	159,54	
Pastagem						
Outras						
Lavouras	22,6	0,00	1,31	0,1	-	
Temporárias	0		7,91	3	1.295,31	
Silvicult					0,0	
ura	---	---	2,99	0	---	
Área	20,5	2,04	17,5	1,7	2,9	
não vegetada	48,73		75,49	5	73,24	
Área	315,	0,03	1,13	0,1	-	
Urbana	95		9,59	1	823,64	
Outras						
Áreas não	20,2	2,01	16,4	1,6	3,7	
vegetadas	32,78		35,90	3	96,88	
Corpo	1,18	0,12	2,35	0,2	-	
D'água	1,02		8,97	3	1.177,95	
Rio,	1,18	0,12	2,35	0,2	-	
Lago e Oceano	1,02		8,97	3	1.177,95	
Total	1,00	100	1,00	10	---	
	7.092,55		7.092,55	0		

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Considerando o mesmo intervalo de tempo (1985-2020), a classe Formação Natural não Florestal da BHCAN, registrou aumento de 2%, saindo de 7,26% em 1985 para 9,29% em 2020, sendo a maior parte deste percentual relacionado à classe Formação Campestre, a qual em ambiente de Caatinga refere-se a áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa que foi desmatada para implantação de pastagem e, atualmente, encontra-se sem a presença de culturas e/ou atividade agrícola.

Na bacia hidrográfica Canindé a classe Formação Campestre, Figura 2, é resultante da classe Formação Florestal após a prática de agricultura. Geralmente antes

da realização do plantio de pastagem e/ou agricultura a vegetação nativa é queimada para a limpeza do terreno e/ou acontece a retirada de lenha e só após é que são introduzidas culturas como capim, milho, sorgo, dentre outras. Entretanto, devido às condições climáticas e a falta do adequado manejo do solo, após alguns anos, geralmente entre 4 e 6 anos, essas áreas acabam perdendo produtividade e são abandonadas, sem nenhum trabalho de recuperação, para que se regeneram de forma natural.

Figura 2. Formação campestre em propriedade rural na bacia hidrográfica Canindé.



Fonte: Os autores (2023).

Importante ressaltar que, em decorrência de práticas como essa, no bioma Caatinga estão presentes mais 1.340.000 km² de áreas susceptíveis à desertificação em mais de 1.500 municípios nos nove estados da região Nordeste (Perez-Marin *et al.*, 2012). Dos seis núcleos de desertificação presentes no semiárido brasileiro, um está presente no estado do Piauí e é considerado o maior do País com área aproximada em 6.100 km² (Costa; Vieira, 2018). Portanto, caso essa prática predatória de uso da terra se prolongue no tempo na BHCAN, a qualidade e a disponibilidade dos recursos naturais existentes

nesta bacia hidrográfica poderão ser seriamente comprometidas, além de aumentar às áreas susceptíveis à desertificação e o isolamento de fragmentos florestais.

Com relação à classe Área não vegetada, esta reduziu de 2,04% em 1985, para 1,75% em 2020. Do ponto de vista quantitativo este comportamento é bom no sentido de que ambientes não vegetados passaram a desempenhar uma outra função, podendo ter recebido cobertura de remanescentes de vegetação nativa, implantação de atividades agrícolas ou a construção de açudes para represamento de água.

A classe Corpo D'água aumentou de 0,12% em 1985 para 0,23% em 2020, ou seja, a massa de água na BHCAN teve ganhos superiores a 1.000 hectares, o que pode ser explicado pela presença de projetos de construção de lagos e açudes, como o caso da barragem Pedra Redonda, inaugurada em 2001, com capacidade total de 216 milhões de metros cúbicos, além da construção de pequenos e médios açudes em propriedades rurais.

Com relação aos usos e ocupação da terra na bacia hidrográfica Alto Parnaíba (BHPAR), a qual possui área total de 522.605,21 hectares, destes, em 1985 cerca de 95% eram ocupados pela classe Floresta, Tabela 2. Ao comparar essa mesma classe para o ano de 2020, num intervalo de apenas 35 anos, foi registrado um decréscimo aproximado em 31% da classe Floresta, restando apenas 64,46% de área florestal, demonstrando que a cobertura de vegetação natural sofreu uma expressiva transformação e alteração da paisagem, sendo semelhante ao registrado no trabalho de Oliveira; Aquino (2020), os quais identificaram que no Cerrado brasileiro, especificamente nos municípios localizados na bacia hidrográfica do rio Gurguéia, área de influência da MATOPIBA, a redução da vegetação original foi de 31,76%.

Nesse sentido, a BHPAR por estar localizada no bioma Cerrado, com a expansão da fronteira agrícola, as áreas até então de vegetação nativa passaram a perder espaço para o agronegócio, principalmente para o plantio de soja. De acordo com os dados da Coleção 7, o cultivo de soja na BHPAR foi detectado pela primeira vez no ano de 1990, quando foi registrado apenas 3,5 hectares e, ano após ano, as áreas destinadas a essa cultura vêm crescendo expressivamente nos municípios que compõem a supracitada bacia.

A segunda classe com maior representatividade na BHPAR para o período observado, Tabela 2, foi a classe Agropecuária, quando em 1985 a área era de pouco mais

de 1%. Analisando o período entre 1985 e 2020, o aumento registrado para esta classe foi superior a 30% de ocupação da BHPAR, atingindo 32,34%, demonstrando que a redução da classe Floresta se deu para a implantação de pastagem e principalmente o cultivo de soja. Resultado semelhante foi encontrado por Rocha; Vieira; Silva (2022) em trabalho realizado no município de Uruçuí, estado do Piauí, no qual o cultivo de soja neste município ampliou em mais de 20 vezes a área cultivada e em contraponto, as áreas florestais foram reduzidas para projetos agropecuários.

Nesse contexto, a ocupação da BHPAR pode ser entendida como reflexo do surgimento dos grandes projetos agropecuários em áreas de Cerrado, os quais na maioria foram viabilizados por incentivos fiscais, programas governamentais e principalmente pelo baixo valor do hectare da terra, conforme destaca Petter *et al.* (2012), o que não difere da expansão agrícola nos demais cerrados piauienses.

Tabela 2. Classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica Alto Parnaíba entre 1985 e 2020.

Classes	Á	%	Ár	%	Varia
	rea em da hectares - 1985	BHPAR - 1985	ea em da hectares - 2020	BHPAR - 2020	ção em hectares - 1985 - 2020
Floresta	4 98.711,3	95, 43	33 6.897,31	64, 46	161.8 14,03
Formaç ão Florestal	1 4.504,47	2,7 8	14. 668,98	2,8 1	- 164,51
Formaç ão Savânica	4 84.206,8	92, 65	32 2.228,33	61, 66	161.9 78,54
Formaç ão Natural não Florestal	1 5.820,25	3,0 3	14. 964,45	2,8 6	855,8 0



Campo	2	0,0	23	0,0	
Alagado e Área	99,34	6	3,84	4	65,50
Pantanososa					
Formaç	1	2,9	14.	2,8	790,3
ão Campestre	5.520,92	7	730,60	2	0
Agrope	7.	1,4	16	32,	-
cuária	354,40	1	8.990,26	34	161.635,86
Pastage	1	0,0	14	0,0	-
m	3,33	0	8,20	3	134,87
Mosaic					
o de	7.	1,4	1.6	0,3	---
Agricultura e	341,07	0	80,66	2	---
Pastagem					
Soja	--	--	15	30,	---
			8.720,68	37	---
Outras					
Lavouras	--	--	8.0	1,5	---
Temporárias			87,96	5	---
Algodã					
o	--	--	35	0,0	---
			2,75	7	---
Área	6	0,1	1.7	0,3	-
não vegetada	67,70	3	46,37	3	1.078,67
Outras					
Áreas não	6	0,1	1.7	0,3	-
vegetadas	67,70	3	46,37	3	1.078,67
Corpo	5	0,0	6,8	0,0	44,69
D'água	1,52	1	3	0	44,69
Rio,	5	0,0	6,8	0,0	44,69
Lago e Oceano	1,52	1	3	0	
Total	5	10	52	10	---



22.605,2	0	2.605,21	0
----------	---	----------	---

1

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A classe Formação Natural não Florestal presente na BHPAR, que era de 3,03% em 1985 foi reduzida para 2,86% em 2020. Logo, mesmo que pouco representativa, essa classe de uso e ocupação da terra deve ser melhor compreendida e o que ocasionou essa redução, haja vista que quase a totalidade (2,82%) refere-se à Formação campestre. A Formação campestre, como já observada na bacia hidrográfica Canindé é resultante, na maioria das vezes, de áreas que anteriormente era floresta e foi destinada ao plantio de pastagem, que devido a falta do manejo adequado do solo acaba sendo deixada para que se regenere naturalmente. No entanto, a regeneração natural por ser uma forma passiva de recuperar e/ou restaurar ambientes degradados apenas retirando os agentes perturbadores e isolando a área, só é plenamente possível em locais que possuem potencial de regeneração (Coutinho *et al.*, 2019), o que nem sempre condiz com áreas anteriormente ocupadas por pastagem e/ou outras culturas no bioma Cerrado.

Por último, mesmo com área pouco significativa a classe Corpo d'água registrou valores pouco expressivos para os períodos entre 1985 e 2020, comparado com as outras classes de uso. Em 1985 essa classe ocupava aproximadamente 52 hectares, passando a registrar apenas 6,83 hectares em 2020. Apesar de na BHPAR não estar presente grandes açudes como o que foi observado para a BHCAN, faz-se necessário entender o que levou a essa drástica redução. Entre 1985 e 2020, a superfície de água presente no Brasil foi reduzida em aproximadamente 16%, enquanto para o mesmo período, no bioma Cerrado, o recuo foi de 2,6% (MapBiomias, 2021). Portanto, essa redução na BHPAR pode estar associada a fatores climáticos ou erros de classificação das imagens, mas principalmente em razão de mudanças no uso e cobertura da terra e redução de floresta.

3.2 ASPECTOS FUNDIÁRIOS DOS IMÓVEIS RURAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO

A delimitação dos imóveis rurais presentes nas bacias hidrográficas Canindé (BHCAN) e Alto Parnaíba (BHPAR) foi obtida a partir das informações públicas disponíveis no banco de dados da plataforma do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) referente ao ano 2020 em formato *shapefile* (vetorial). Cada arquivo possui dados relativos à área, município e a condição em que se encontra o cadastro ambiental realizado, se averbado, cancelado por decisão administrativa ou aguardando análise.

Para melhor compreender o tamanho médio dos imóveis rurais, foram estabelecidas quatro categorias de tamanho, de acordo com o que preconiza o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e o disposto na Lei Federal nº 8.629/1993, assim sendo: (i) Minifúndio, imóvel rural com área inferior a Fração Mínima de Parcelamento (FMP); (ii) Pequena Propriedade, imóvel com área entre a FMP e 4 módulos fiscais; (iii) Média Propriedade, imóvel rural de área superior a 4 e até 15 módulos fiscais; e (v) Grande Propriedade: imóvel rural de área superior a 15 módulos fiscais. A FMP corresponde à menor área, em hectares, em que um imóvel rural pode ser desmembrado ou dividido para constituição de um novo imóvel rural, ou seja, é um valor variável de acordo com cada município do País (Brasil, 2022). Em todos os municípios constituintes da BHCAN o Módulo Fiscal corresponde a 70 hectares e a FMP 4 hectares, ao contrário da BHPAR na qual, com exceção dos municípios de Bom Jesus e Currais, o Módulo Fiscal é correspondente a 75 hectares e a FMP é de 4 hectares.

Na BHCAN estão presentes 21.842 imóveis rurais, os quais são predominantemente classificados como pequena propriedade, ou seja, dos 21.842 imóveis rurais inscritos no CAR, 19.326 (88,48%) se enquadram nesta classificação, com área total de 651.653 hectares e tamanho médio de 33,7 hectares. Os imóveis classificados como média propriedade representam apenas 0,78% (171 imóveis), com área de 78.266 hectares e tamanho médio de 457 hectares. A classe grande propriedade dispõe 25 imóveis (0,11%), porém ocupa uma área de 57.399 hectares e tamanho médio de 2.296 hectares. Por último, foram identificados 2.320 imóveis considerados minifúndios, com área total equivalente a 5.242 hectares e tamanho médio de 2,25 hectares.

Diante disso, percebe-se que a estrutura fundiária presente na BHCAN é composta, em sua maioria, por imóveis rurais considerados como pequena propriedade

rural. Entretanto, ainda estão presentes grandes propriedades rurais, o que pode ser explicado pelo modelo de ocupação do Nordeste Brasileiro, o qual aconteceu baseado no avanço da pecuária, do litoral para o interior, além da grilagem e a Lei das terras de 1850 (Camacho, 2011). De acordo com Nova; Nóvoa (1999), o monopólio da terra resulta em uma série de prejuízos, dentre eles o atraso econômico da região.

Com relação à estrutura fundiária da BHPAR, dos 592 imóveis rurais identificados, apenas 10 imóveis (1,7%) são classificados como minifúndio. Foram identificados 332 imóveis (55,9%) considerados como pequena propriedade rural, com área total de 29.114 hectares e tamanho médio de 87,7 hectares. Ao comparar as duas bacias hidrográficas, percebe-se que na BHCAN predominam imóveis considerados como pequena propriedade rural. Na BHPAR, apesar de quantitativamente os imóveis classificados como pequena propriedade rural corresponderem à 55,9% do total, estes ocupam apenas uma área aproximada de 30.000 hectares.

Por outro lado, apesar dos imóveis considerados como grande propriedade corresponderem a apenas 18,75% do total, a área ocupada é de 394.746 hectares com tamanho médio de 3.556 hectares, refletindo a concentração da posse da terra em regiões onde predominam grandes projetos agropecuários. A classe média propriedade possui 140 imóveis (23,65%) e área total de 75.972 hectares, com tamanho médio de 542,6 hectares. Com relação aos imóveis classificados como grande propriedade, apesar de terem sido identificados apenas 111 imóveis (18,75%), a área total ocupada por esses imóveis é de 394.746 hectares com tamanho médio de 3.556 hectares.

3.3 PANORAMA DOS IMÓVEIS INSCRITOS NO CADASTRO AMBIENTAL RURAL

De acordo com os resultados, Tabela 3, foram identificados na BHCAN 21.842 imóveis rurais inscritos no CAR com área total de 793.390 hectares, o equivalente a 78% da área total desta bacia. Ao levar em consideração a quantidade de imóveis que possuem RL proposta, dos 21.842 imóveis inscritos no CAR (100%), cerca de 20.853 imóveis (95%) possuem Reserva Legal proposta. Isso significa que existem apenas 989 posses

e/ou propriedades rurais inscritas sem a proposição de RL na BHCAN, o que em tese estaria em desacordo com o que preconiza o art. 12, Lei Federal nº 12.651/2012.

Tabela 3. Quantidade de imóveis e áreas cadastradas no Cadastro Ambiental Rural.

Nº de imóveis rurais	Área total de imóveis rurais (ha)	Nº de RL Proposta	Área total RL Proposta (ha)	Área de vegetação nativa em RL (ha)	Área de vegetação nativa a recompor em RL (ha)
Bacia hidrográfica Canindé					
21.842	79.3.390	2.0853	160.436,50	118.784,43	41.652,07
Bacia hidrográfica Alto Parnaíba					
592	49.9.843	4.35	124.751,29	104.999,72	19.751,57

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com relação à BHPAR, nessa foram contabilizadas 592 posses e/ou propriedades rurais (100%) com área total de 499.843 hectares, o que corresponde a 95,5% do total de área da bacia. Dos 592 imóveis cadastrados apenas 157 não possuem RL proposta, ou seja, existem imóveis com a ausência de áreas destinadas à RL. Sendo assim, a BHCAN possui um déficit de 5%, das posses e/ou propriedades rurais inscritas no SICAR sem a proposição de RL, enquanto na BHPAR esse percentual chega a 26,5%.

Com relação a quantidade de área destinada para fins de composição de RL, o somatório das áreas propostas na BHCAN é de 160.436,50 hectares e 124.751,29 para a BHPAR. No entanto, de acordo com dados de uso e ocupação da terra, MapBiomias, existem 118.784,43 hectares de remanescente de vegetação nativa nas áreas destinadas à RL na BHCAN e 104.999,72 hectares na BHPAR, o que demonstra um déficit de 41.652,07 hectares de vegetação nativa na BHCAN e 19.751,57 hectares na BHPAR.

Quanto a situação dos cadastros efetuados nas áreas de estudo, Tabela 4, verificou-se que dos 21.842 cadastros realizados (100%) na BHCAN, desses, 100% encontram-se na condição aguardando análise, ou seja, o órgão ambiental de meio ambiente estadual não se manifestou em mais de 11 anos de vigência do Cadastro Ambiental Rural. Em relação à BHPAR, essa possui uma pequena diferença quanto à dinâmica de análise e validação dos cadastros já realizados, uma vez que dos 592 (100%) cadastros, 571 (96,4%) encontram-se na condição aguardando análise; 18 (3,1%) foram cancelados por decisão administrativa e apenas 3 cadastros (0,5%) foram analisados.

Tabela 4. Condição administrativa dos Cadastros Ambiental Rural realizados.

Nº de Cadastros Ambientais Rural	Condição administrativa dos cadastros		
	Aguardando análise	Cancelado por decisão administrativa	Analisado por filtro automático
Bacia hidrográfica Canindé (BHCAN)			
21.842	21.842	0	0
Bacia hidrográfica Alto Parnaíba (BHPAR)			
592	571	18	3

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Nesse contexto, a diferença quanto à condição dos processos de análises dos cadastros nas áreas de estudo pode ser explicada em função de que na BHCAN não existem grandes empreendimentos rurais, ao contrário da BHPAR onde predominam os maiores projetos agrícolas do estado do Piauí, principalmente o plantio de soja, pois no licenciamento ambiental, de acordo com o rito deste procedimento, as informações relativas ao Cadastro Ambiental Rural são julgadas, consoante o art. 10, Lei Federal nº 6.938/1981 e art. 2º, I, LC nº 140/2011, haja vista que os empreendimentos capazes de causar poluição ou significativa degradação ambiental dependerão do prévio licenciamento ambiental pelo órgão de meio ambiente competente.

Importante destacar que o atraso no julgamento das informações referentes aos cadastros já realizados, além de causar insegurança jurídica para os proprietários de imóveis rurais que efetuaram o CAR dentro do prazo estabelecido, ocasiona atrasos no processo de regularização ambiental das áreas com déficit de vegetação nativa.

3.4 MÉTRICAS DA PAISAGEM PARA A CLASSE VEGETAÇÃO NATURAL

A partir das análises dos índices métricos de ecologia da paisagem, Tabela 5, foram contabilizados 40.775 fragmentos de Vegetação Natural na BHCAN, os quais correspondem a uma área 627.904 hectares (ha) de fragmentos florestais. Isso significa que, da área total da BHCAN (1.007.092,55 ha), 62,35% correspondem a fragmentos florestais. Na bacia BHPAR foram contabilizados 3.951 fragmentos de Vegetação Nativa, os quais possuem área de 336.898,33 hectares. Como a área total da BHPAR corresponde a 522.605,21 hectares, a classe Vegetação Natural nessa bacia ocupa o equivalente a 64,47% do total. Sendo assim, do ponto de vista quantitativo, ambas as bacias hidrográficas possuem valores similares para a classe Vegetação Natural.

De acordo com as análises, é possível verificar que na BHCAN, dos 40.775 fragmentos de Vegetação Natural (100%), apenas 225 fragmentos (0,55%) possuem área superior a 100 hectares. A quantidade de fragmentos entre 10 e 100 hectares foi de 1.302, o equivalente a (3,19%). Os fragmentos de tamanho entre 5 e 10 hectares somaram 1.247 e correspondem (3,06%) do total. Com relação aos fragmentos menores que 5 hectares, esses são maioria na BHCAN, tendo sido contabilizados 38.001 fragmentos, o equivalente à 93,20% de todos os fragmentos da classe Vegetação Natural.

Na BHPAR estão presentes 3.951 fragmentos florestais (100%), no entanto, apenas 28 fragmentos (0,71%) são superiores a 100 hectares. A classe de fragmentos entre 10 e 100 hectares registrou 253 fragmentos (6,40%) de Vegetação Natural. Fragmentos com tamanho entre 5 e 10 hectares totalizaram 372 unidades (9,42%). Os menores que 5 hectares são maioria, os quais em 3.298 fragmentos correspondem a 83,47% do total.

Em termos percentuais, é perceptível que a maioria dos fragmentos da classe Vegetação Natural presentes nas duas bacias hidrográficas são menores que 5 hectares.

Logo, a partir desses dados, é possível inferir que apesar de serem ambientes com elevada quantidade de fragmentos florestais, os fragmentos de tamanho inferior a 5 hectares na BHCAN representam apenas 3,44% de área da bacia e 1,38% na BHPAR. Nesse sentido, pode-se perceber que ambas as bacias tiveram aumento do número de fragmentos florestais e conseqüentemente reduziu a área ocupada pela classe Vegetação Natural, o que do ponto de vista ecológico pode resultar em diversos efeitos negativos à fauna e flora, principalmente em virtude da alteração do número e tamanho dos fragmentos, além do isolamento entre eles, conforme observações realizadas por Fahrig (2003).

Tabela 5. Índices de Ecologia da Paisagem para a classe vegetação natural.

Índices	Índice	S	Tamanho dos fragmentos				Total dos fragmentos
			< 5 ha (muito pequeno)	5 – 10 ha (pequeno)	10 – 100 ha (médio)	> 100 ha (grande)	
Bacia hidrográfica Canindé 2020							
Área	C		21.6	8.	36.0	561.	62
	A		27,13	822	87,24	367,98	7.904
	%		3,44	1,	5,75	89,4	10
Borda	LAND		40		0		0,00
	T		11.2	2.	5.69	30.5	49
	E		16.506,97	107.655	0.903	38.793	.553.858
Tam	E		518,	23	157,	54,4	78
	D		63	8,90	70	0	,92
	N		38.0	1.	1.30		40
densidade	umP		01	247	2	225	.775
	M		0,57	7,	27,7	2.49	15
	PS		07	2	4,97	,40	
	P		150,	19	74,2	657,	8.



	ScoV	85	,97	3	53	004,10	
	M			1,			1,
	SI	1,29	79		2,33	6,10	36
ma	For	A		1,		35,1	31
	WMSI	1,43	81		2,64	5	,65
	M			1,			1,
	PFD	1,39	33		1,34	1,38	39
Bacia hidrográfica Alto Parnaíba 2020							
	C	4.64		2.	5.96	323.	33
Área	A	3,92	529,87	8,34	756,20	6.898,33	
	%			0,		96,1	10
	LAND	1,38	75		1,77	0	0,00
	T	1.84		62	993.	8.85	12
a	Bord E	5.028	3.112,28	509,95	6.278,34	.317.928	
	E	397,		24	166,	27,3	36
	D	30	6,30	46	5		,56
	N	3.29		37	253	28	3.
Tam	umP	8	2			951	
anho	e	M		6,	23,5	11.5	85
densidade	PS	1,41	80	9	62,72	,27	
	P	82,1		20	78,4	496,	5.
	ScoV	9	,18	6	94	785,66	
	M			1,			1,
	SI	1,41	81		2,32	5,19	53
ma	For	A		1,		39,9	38
	WMSI	1,50	83		2,52	3	,45
	M			1,			1,
	PFD	1,35	33		1,34	1,34	35

Descrição: **CA** (Class area); **%PLAND** (Percentage of landscape); **TE** (Total edge); **ED** (Edge density) **NUMP** (Number of patches); **MPS** (Mean patch size); **PScoV** (Patch size coefficient of variation); **MSI** (Mean shape index); **AWMSI** (Area-weighted mean shape index); **MPFD** (Mean patch fractal dimension). Fonte: Adaptado de McGarigal e Marks (1995).

Outro dado importante, de acordo com a Tabela 6, é o somatório em hectares que cada classe possui como remanescente de vegetação nativa. Dos 21.627,13 fragmentos da classe Vegetação Natural menores que 5 hectares (<5 ha) presentes na BHCAN, foram contabilizados nos mesmos apenas 21.627,13 hectares, ou seja, 3,44 % de toda a classe Vegetação Natural. Somadas, as classes de 5-10 hectares e 10-100 hectares, representam apenas 7,15%. Por outro lado, a classe de fragmentos maiores que 100 hectares (>100 ha), apesar de possuir apenas 225 fragmentos, estes respondem por 561.367,98 hectares, o equivalente a 89,4% da classe Vegetação Natural.

Logo, esse resultado demonstra que apesar do elevado número de fragmentos (<5 ha), a maior parte da classe Vegetação Natural está concentrada em grandes fragmentos, o que do ponto de vista ecológico representa maiores ganhos. De acordo com o trabalho realizado por Antongiovanni; Venticinque; Fonseca (2018), foi observado que o bioma Caatinga possui uma elevada fragmentação, no entanto a maior parte da vegetação se concentra nos maiores fragmentos e ainda possui uma boa permeabilidade.

Tabela 6. Classe de tamanho dos fragmentos florestais.

CLASSE VEGETAÇÃO NATURAL					
Classe de tamanho (ha)	de ha	BHCAN		BHPAR	
		Área	%	Área	%
< 5	13	21.627,	3,44	4.643,9	1,
5 – 10		8.822	1,40	2.529,8	0,
				7	75



10 – 100	36.087,	5,75	5.968,3	1,
	24		4	77
> 100	561.36	89,40	323.75	9
	7,98		6,20	6,10

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com relação aos dados obtidos na BHPAR, os resultados são semelhantes aos encontrados para a BHCAN. Desses, a classe de fragmentos florestais (<5 ha) corresponde apenas por 1,38 % da área total, o equivalente a 4.643,92 hectares. As classes de 5-10 hectares e 10-100 hectares representaram apenas 0,75% e 1,77% de área, respectivamente. Porém, a classe de fragmentos (>100 ha), apesar de ter registrado apenas 28 fragmentos, é responsável por 96,10% da área total de vegetação nativa, com uma área total de 323.756,20 hectares.

Nesse sentido, a área de uma classe (CA), de acordo com Forman; Godron (1986), pode ser considerada como uma das informações mais importante em trabalhos de Métricas da Paisagem, pois esta é uma das bases para a realização de cálculos para outras métricas, além de ser o parâmetro de maior importância ao explicar as variações de riqueza de espécies. Na BHCAN, apesar da maioria dos fragmentos possuírem uma relação inversa entre o número de fragmentos e a área ocupada por eles, ou seja, os fragmentos pertencentes às menores classes possuem maior número de manchas, o somatório de suas áreas corresponde ao menor percentual da área total de fragmentos florestais; já os grandes fragmentos, apesar de apresentarem menor quantidade, possuem maiores áreas e são os responsáveis pela cobertura florestal na bacia hidrográfica.

Do ponto de vista comparativo, os resultados aqui alcançados são semelhantes aos obtidos por Thiago; Magalhães; Santos (2020), ao analisarem a bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, no Espírito Santo, a qual mantém apenas 22% de cobertura florestal remanescente e a maior parte dos fragmentos possui área inferior a 5 hectares.

Logo, percebe-se que as áreas em estudo encontram-se em elevado processo de fragmentação, mesmo, ainda que, com área total pouco expressiva é importante que políticas públicas voltadas à conservação sejam estabelecidas nessas áreas, pois um dos

principais problemas dessa fragmentação é que fragmentos menores estão sujeitos a sofrerem maior intensidade do efeito de borda, além do que, de acordo com Metzger (1999), a riqueza de uma área é proporcional à área do fragmento, ou seja, à medida que o tamanho do fragmento diminui, menores ficam as áreas mínimas necessárias à sobrevivência de algumas espécies.

Por outro lado, segundo Forman; Godron (1986), fragmentos com maiores tamanhos são de vital importância para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio ecológico, como também são importantes os fragmentos menores em uma paisagem, pois esses podem funcionar como corredores de ligação entre os maiores fragmentos, trampolins ecológicos em grandes paisagens ou funcionarem como áreas de refúgio para algumas espécies. Contudo, é importante destacar que fragmentos que possuem pequenas áreas correm o sério risco de serem extintos com o passar dos anos, caso não sejam adotados os devidos cuidados quanto ao manejo que proporcione uma maior integração de suas áreas com fragmentos maiores e mais próximos, pois do ponto de vista ecológico áreas pequenas são mais frágeis e possuem menores padrões de sustentabilidade.

Ao analisar o tamanho médio das manchas (MPS), na BHCAN a classe de fragmentos (>100 ha) foi a que apresentou maior tamanho médio (2.494,97 ha), seguida da classe entre 10 e 100 hectares, a qual foi de 27,72 hectares. As classes (<5 ha), de 5 a 10 hectares e todos os fragmentos, o valor de tamanho médio foi de 0,57 ha, 7,07 ha e 15,4 ha, respectivamente. Com relação aos valores encontrados de tamanho médio das manchas (MPS) para a bacia hidrográfica Alto Parnaíba, os resultados não diferem muito dos encontrados para BHCAN. Na BHPAR o tamanho médio dos fragmentos superior a 100 hectares foi de 11.562,72 ha; em seguida a classe de fragmentos entre 10 e 100 hectares alcançou um valor médio de 23,59 ha. Já as classes menor que 5 hectares e entre 5 e 10 hectares os valores médios foram de 1,41 ha e 6,80 ha, respectivamente.

Isso demonstra que apesar de a BHCAN e a BHPAR possuírem um elevado número de fragmentos da classe Vegetação Natural menor (<5 ha), a maior parte de vegetação está localizada em fragmentos de maior tamanho, o que do ponto de vista ecológico representa melhores condições para o abrigo de fauna e flora. Embora o tamanho do fragmento não seja o suficiente para indicar a presença de espécies, uma vez que a matriz

e a distância entre fragmentos têm grande influência, conforme destaca Josen; Fahrig (1997), a redução na taxa de extinção e o aumento da colonização de espécies em uma área produzem uma relação positiva entre a riqueza de espécies e a área, ou seja, quanto maior a área maior será o número de espécies (Thiago *et al.*, 2020).

Com relação às métricas de borda, as quais se relacionam ao perímetro/área do fragmento, o índice métrico total de bordas (TE) expressa a densidade do total de bordas em metros. Quanto ao índice densidade do total de bordas (ED), esse se refere à densidade do total de bordas em relação à área total m/ha, expressando o grau de fragmentação da paisagem. Nesse sentido, na BHCAN foram contabilizados 49.553.858,00 metros referentes ao total de bordas (TE), e a densidade de bordas (ED) registrada foi de 78,92 m/ha. Ao analisar individualmente cada classe de tamanho dos fragmentos, percebe-se que os fragmentos maiores que 100 hectares tiveram um TE de 30.538.793,00 metros, enquanto os fragmentos pertencentes à classe de até 5 hectares o TE registrado foi de 11.216.506,97 m. As demais classes, 5-10 hectares e 10-100 hectares, correspondem a 2.107.665,00 e 5.690.903,00 m, respectivamente.

Na bacia BHPAR, o (TE) para todos os fragmentos foi de 12.317.928,00 metros. Com relação às classes de fragmentos, os maiores de 100 hectares registraram (TE) de 8.856.278,34 m. A segunda classe com maior valor (TE) foi a que compreende os fragmentos (<5 ha), com 1.845.028,00 m, semelhante ao que ocorreu na BHCAN, na qual esta classe também foi a segunda mais representativa. As classes entre 5 e 10 hectares e entre 10 e 100 hectares obtiveram valores de 623.112,28 m e 993.509,95 m.

No entanto, analisando apenas a extensão total de bordas nesses ambientes de estudo não é possível concluir o quão fragmentado está a paisagem. Porém, espera-se que quanto menor for o tamanho do fragmento maior será a densidade de borda, haja vista que ela faz uma relação entre o perímetro e a área.

Para tanto, foram analisadas a densidade total de bordas nas duas bacias hidrográficas. De todas as classes de tamanho de fragmentos na BHCAN, os fragmentos menores que 5 hectares foram os que contabilizaram o maior valor, tendo alcançado 518,63 m/ha. O segundo maior valor de (ED) foi encontrado para a classe entre 5 e 10 hectares, com 238,9 m/ha. A classe entre 10 e 100 hectares a (ED) foi de 157,70 m/ha e

fragmentos superior a 100 hectares registram (ED) média de 54,40 m/ha. Em relação à BHPAR, nessa o maior valor de (ED) foi encontrado nos fragmentos menores que 5 hectares, 397,30 m/ha. O segundo maior valor (ED) foi na classe entre 5 e 10 hectares, 246,30 m/ha. A classe de fragmentos entre 10 e 100 hectares obteve uma (ED) de 166,46 m/ha, já os fragmentos maiores que 100 hectares, esta relação foi de apenas 27,35 m/ha.

Diante do exposto, percebe-se que a densidade de bordas em ambas as bacias hidrográficas é semelhante, haja vista que fragmentos menores que 10 hectares são os que possuem maior relação. Isso indica que o aumento do efeito de borda nos fragmentos das áreas de estudo tende a aumentar proporcionalmente à medida que o tamanho dos fragmentos florestais reduz, resultando em prejuízos ecológicos e menor qualidade na estrutura da classe Vegetação Natural, conforme destaca Silva *et al.* (2019).

Em relação aos índices das métricas de forma, o índice de forma média (MSI) dos fragmentos e o índice de forma de área ponderada (AWMSI) são muito importantes em trabalhos sobre métricas da paisagem, pois são capazes de demonstrar como os fragmentos estão distribuídos na paisagem além de expressarem a complexidade ou não de um fragmento, pois quanto mais próximo de 1, menos complexo se torna o fragmento (Forman; Godron, 1986). Nesse sentido, a classe de todos os fragmentos da BHCAN possui índice de forma (MSI) médio de 1,36. Os fragmentos maiores que 100 hectares se mostraram como os mais irregulares, visto que o MSI foi de 6,10 e o AWMSI de 35,15.

Resultado semelhante, para esta mesma classe de fragmentos, foi identificado na BHPAR onde o MSI foi de 5,19 e o AWMSI de 39,93. Considerando todos os fragmentos florestais o MSI foi de 1,53 e o AWMSI 38,45. Por outro lado, os resultados dos índices métricos MSI e AWMSI para as classes de fragmentos menores que 10 hectares, nas duas áreas de estudo, indicam que são regulares, ou seja, possuem valores próximo de 1.

Nesse contexto, de acordo com Pirovani *et al.* (2014), os fragmentos maiores, mesmo que apresentem formatos irregulares, do ponto de vista de conservação das espécies que necessitam habitar o interior dessas áreas, os ganhos são maiores em uma área grande com formato irregular, do que em fragmentos circulares, mas de menor área, pois esses tendem a sofrerem com maior intensidade os efeitos de bordas.



4 CONCLUSÃO

Os procedimentos metodológicos e o conjunto de ferramentas utilizadas, como a utilização de métricas da paisagem, nas bacias hidrográficas Canindé e Alto Parnaíba, indicaram que:

- A classe Floresta foi identificada como a mais representativa nas bacias hidrográficas Canindé e Alto Parnaíba, seguida da classe Agropecuária;
- Apesar da elevada fragmentação florestal em ambas as bacias hidrográficas, os fragmentos florestais com área superior a 100 hectares respondem por 90% da classe vegetação natural na BHCAN e 96% na BHPAR;
- A estrutura fundiária da BHCAN difere da estrutura encontrada na BHPAR, sendo a primeira composta predominantemente de imóveis classificados como pequenas propriedades com área média de 33,7 hectares; na segunda, apesar de predominar, em quantidade, imóveis classificados como pequena propriedade, apenas 111 imóveis considerados como grande propriedade correspondem a uma área aproximada em 395.000 hectares e tamanho médio de 3.556 hectares;
- Quanto à situação dos imóveis inscritos no Cadastro Ambiental Rural, na BHCAN 100% dos cadastros realizados se encontram aguardando análise. Por outro lado, na BHPAR, 96,4% estão aguardando análise, 3,1% foram cancelados por decisão administrativa e apenas 0,5% foram analisados pelo filtro automático;
- Quanto aos indicativos dos índices métricos de paisagem, a estrutura da paisagem na BHPAR sofreu modificações mais intensas nos últimos 35 anos quando comparada com as alterações sofridas pela paisagem da BHCAN, demonstrando que ambientes onde predominam grandes projetos agropecuários, as modificações tendem a serem mais expressivas.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece a UFSC pela oferta do curso de Mestrado Profissional em Perícias Criminais Ambientais, ao Instituto Federal de Educação do Piauí pela concessão do afastamento para conclusão do curso de mestrado.

O segundo autor agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro (processo nº #2022/01899-6).

O terceiro autor agradece à FAPESP, CNPq e à Universidade Estadual Paulista (UNESP) pelo apoio financeiro. Este estudo foi financiado em parte pela CAPES Brasil – Código Financeiro 001. Este estudo também faz parte do Centro de Pesquisa em Dinâmica da Biodiversidade e Mudanças Climáticas, que é financiado pela FAPESP.

REFERÊNCIAS

Amorim, A. T., de Sousa, J. A. P., Piroli, E. L. O uso das métricas de ecologia da paisagem para análise dos padrões espaciais da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da boa vista. **Formação (Online)**, 28(53), 2021.

Antongiovanni, M., Venticinque, E. M., Fonseca, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, 33, 1353-1367, 2018.

BRASIL. (2012) Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências**, (2012). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm

BRASIL. (2022). **Instrução Especial nº 5, de 29 de julho de 2022**. Dispõe sobre os índices básicos cadastrais e os parâmetros para o cálculo do módulo rural (2022). <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-especial-n-5-de-29-de-julho-de-2022>

Camacho, R. S. A histórica concentração fundiária do Brasil: Estudo de caso do Município de Paulicéia/SP. **Geografia em Questão**, 4(1), 2011.

Costa, A., Galvão, A., Gonçalves, S. L. Mata Atlântica Brasileira: Análise do efeito de borda em fragmentos florestais remanescentes de um hotspot para conservação da biodiversidade. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, 10(1), 112-123, 2019.

Costa, G. J. A., Vieira, C. I. P. Geotecnologias para análise da vulnerabilidade ambiental do núcleo de desertificação do Piauí. **Caderno Prudentino de Geografia**, 2(40), 59-76, 2018.

Coutinho, P. R. D. O., Valcarcel, R., Rodrigues, P. J. F. P., Braga, J. M. A. Restauração passiva em pastagens abandonadas a partir de núcleos de vegetação na Mata Atlântica, Brasil. **Ciência Florestal**, 29, 1307-1323, 2019.

Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, 34(1), 487-515, 2003.

Fernandes, W. A. A., Silva Pimentel, M. A. Dinâmica da paisagem no entorno da Resex marinha de São João da Ponta-PA: utilização de métricas e geoprocessamento. **Revista Caminhos de Geografia**, 20(72), 326-344, 2019.

Ferreira, N. C. F, Mello Duarte, J. R., Oliveira, L. A. B., Silva, E. C., Carvalho, I. A. O papel das matas ciliares na conservação do solo e água. **Biodiversidade**, 18(3), 2019.

Forman, R., Godron, M. Landscape Ecology. **John Wiley & Sons**, 619, 1986.

Gavioli, F. R., Molin, P. G., Valente, R. A. O papel das pequenas manchas florestais na qualidade ecológica de uma paisagem antropizada da Mata Atlântica. **Research, Society and Development**, 11(6), e38311629162-e38311629162, 2022.

Gottschalk., P. J. G.; Santos., R. B. M. Fragmentação de habitat em remanescentes de Mata Atlântica no sul do Brasil: análise espacial baseada em métricas da paisagem. **Revista Ciência Geográfica**, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 417–431, 2024.

Jonsen, I. D., Fahrig, L. Response of generalist and specialist insect herbivores to landscape spatial structure. **Landscape Ecology**, 12, 185-197, 1997.

Leite, R. S., Ivanov, M. M. M. **Caracterização das Unidades de Conservação do estado do Piauí. Unidades de Conservação do Estado do Piauí**. Teresina, EDUFPI, 2020.

Lima, A. F., Silva, E. G. A., Iwata, B. F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, 22(1), 50-68, 2019.

Lima, E. A. M., Brandão, R. L. Geologia. In: Pfaltzgraff, P. A. S., Torres, F. S. M., & Brandão, R. L. **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife - PE, 2010.

Lima, S. S., Cordeiro, J. L., Teixeira, L. P., Maia, R. P., da Silva, M. V. C., Moro, M. F. Caracterização geográfica e dinâmica de uso da terra da Ibiapaba e seu entorno, Domínio Fitogeográfico da Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15(5), 2500-2524, 2022.

MapBiomas. Projeto MapBiomas - Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas Cobertura e Uso do Solo do Brasil. **MapBiomas**, 2021.

McGarigal, K. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure (Vol. 351). **US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station**, 1995.

McGarigal, K., Cushman, S. A. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. **Ecological applications**, 12(2), 335-345, 2002.

McGarigal, K., Marks, B. J. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. **US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station**, 1-122, 1995.

Medeiros, R. M., Cavalcanti, E. P., Medeiros-Duarte, J. F. Classificação climática de köppen para o estado do Piauí - Brasil. **Revista Equador**, 9(3), 82-99, 2020.



Medeiros, R. M., Holanda, R. M., França, M. V., Saboya, L. M. F., Cunha Filho, M., Araújo, W. R. Caracterização e classificação climática da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto, PI-Brasil. **Research, Society and Development**, 11(6), 2022.

Medeiros, R. M., Santos, D. C., Sousa, F. A. S., Gomes Filho, M. F. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico climatológico na bacia do Rio Uruçuí Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6(4), 652-664, 2013.

Metzger, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 71(3-I), 445-463, 1999.

Nova, C., Nóvoa, J. **Carlos Marighella: o homem por trás do mito**. UNESP, Rio Claro São Paulo, 1999.

Oliveira, C. D. L., Silva, A. P. A. Distribuição e Importância das Unidades de Conservação no Domínio Caatinga. **Anuário do Instituto de Geociências**, 42(1), 425-429, 2019.

Oliveira, H. R. B. **Conservação de áreas de preservação de florestas: Reserva Legal como estratégia de sustentabilidade no Estado do Piauí**. In: NUNES, M. S. Estudos em Direito Ambiental: Territórios, racionalidade e decolonialidade. (Ed.). Licuri (pp. 168-185). Campina Grande, PB, 2022.

Oliveira, L. N., Aquino, C. M. S. Dinâmica Temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do MATOPIBA: Análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. **Revista Equador**, 9(1), 317-333, 2020.

Oliveira, R. A. N., Sousa, G. A Medeiros., Menezes Junior, J. C., Melo, R. T., Sousa Neto, E. P., Sousa, T. P. Dinâmica do Processo de Desmatamento de Caatinga no Município de Catolé do Rocha-PB. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 10(4), 01-04, 2014.

Perez-Marin, A. M., Cavalcante, A. D. M. B., Medeiros, S. S., Tinôco, L. D. M., Salcedo, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica. **Parcerias Estratégicas**, 17(34), 87-106, 2012.

Petter, F. A., Silva, J. A., Pacheco, L. P., Almeida, F. A., Neto, F. A., Zuffo, A. M., Lima, L. B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 55(3), 190-196, 2012.

Pirovani, D. B., Silva, A. G. D., Santos, A. R. D., Cecílio, R. A., Gleriani, J. M., Martins, S. V. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, 38, 271-281, 2014.



Pompeu, J., Assis, T. O., Ometto, J. P. Landscape changes in the Cerrado: Challenges of land clearing, fragmentation and land tenure for biological conservation. **Science of The Total Environment**, 906, 167581, 2024.

Ribeiro, A. N., Lima, F. W. **Código Florestal Brasileiro: áreas de preservação permanente, reserva legal e cadastro ambiental rural**, 2019.

Rocha, J. V. V., Vieira, V. D. C. B., Silva, A. J. Análise espaço-temporal da expansão do cultivo da Soja em Uruçuí-Piauí. **Research, Society and Development**, 11(6), 2022.

Santos, P. M., Ferraz, K. M. P. M. D. B., Ribeiro, M. C., Niebuhr, B. B., Vancine, M. H., Chiarello, A. G., Paglia, A. P. Natural Forest regeneration on anthropized landscapes could overcome climate change effects on the endangered maned sloth (*Bradypus torquatus*, Illiger 1811). **Journal of Mammalogy**, 103(6), 1383-1396, 2022.

Silva, A. L. D., Longo, R. M., Bressane, A., Carvalho, M. F. H. D. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. **Ciência Florestal**, 29, 1254-1269, 2019.

Silvino, A. S. LAMARCK, J.-B. Filosofia zoológica, vol. I, pt. 1, cap. 3 (Da espécie entre os seres vivos, e da ideia que nós devemos dar a essa palavra). **Revista Heliús**, 3(2, fasc. 1), 633–655, 2021.

Souza, C., Azevedo, T. **MapBiomias general handbook**. MapBiomias: São Paulo, Brazil, 1-23, 2017.

Souza, J. C., Aquino, M. P. T., Druciaki, V. P. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Revista Geo**, 9(2), 1-15, 2020.

Thiago, C. R. L., Magalhães, I. A. L., Santos, A. D. Identificação de Fragmentos Florestais Potencias para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim – ES, por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(2), 595-612, 2020.

Vancine, M. H., Renata L. M., Bernardo, B. N., Júlia, E. F. O., Vinicius, T., Rodrigo, B., Carlos. A., Marcos, R. R., Carlos, H. G., Milton, C. R. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 291, p. 110499, 2024.

Yu, M., Huang, Y., Cheng, X., Tian, J. An ArcMap plug-in for calculating landscape metrics of vector data. **Ecological Informatics**, 50, 207-219, 2019.