

ANÁLISE TEMPORAL DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURIAÇU, AMAZÔNIA MARANHENSE

Gilberlene Serra Lisboa¹
Juliana Lopes de Almeida²
José Fernando Rodrigues Bezerra³
Karina Dias Silva⁴

INTRODUÇÃO

O desmatamento no bioma amazônico devido a processos de mudança no uso da terra, derivados de múltiplos fatores ambientais e socioeconômicos, tornou-se um tema de interesse para a conservação dos ecossistemas (SMITH et al., 2022). Essas mudanças são, em parte, consequências da expansão da fronteira agrícola, impulsionada pelo crescimento populacional e industrial, o que contribui para a alteração das propriedades do solo, do clima e da qualidade da água nas bacias hidrográficas (LAWRENCE; VANDECAR, 2015). Somente no triênio 2019-2021 o desmatamento da Amazônia brasileira aumentou 56% em relação aos anos anteriores, sendo as Terras Públicas as áreas mais afetadas (ALENCAR et al., 2022).

No Maranhão a floresta amazônica perdeu mais de 75% da cobertura florestal original devido ao desmatamento ilegal (SILVA JUNIOR et al., 2020), sendo a Área de Endemismo Belém (AEB), região que se estende do leste do Pará ao oeste do Maranhão, a área mais desmatada do Bioma Amazônico do Brasil (INPE, 2017). Atualmente, os principais remanescentes florestais nesta região estão em Terras Indígenas, como a TI Alto Turiaçu, e na Reserva Biológica do Gurupi, que estão constantemente ameaçados pela ocupação e invasão de grupos sociais, desmatamento e extração ilegal de madeira (CELENTANO et al., 2018).

¹ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, gilberlene_serra@yahoo.com.br;

² Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais- Universidade Federal do Pará- UFPA, julianaalmeida.ingenharia@outlook.com;

³ Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão, fernangeo@hotmail.com;

⁴ Doutora em Ciências Ambientais, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação - Universidade Federal do Pará, diassilvakarina@gmail.com;

Dentre os principais problemas gerados pela fragmentação, está a perda da biodiversidade através do efeito de borda e isolamento de espécies (LEIJA-LOREDO; PAVÓN, 2017), afetando vários grupos taxonômicos, como aves, mamíferos, répteis, anfíbios, invertebrados e plantas (STUART et al., 2004). No entanto, estes problemas dependem dos padrões de fragmentação dos habitats, em que a abundância de determinadas espécies está relacionada com o tamanho das manchas de vegetação. Isso sem considerar o papel desempenhado pelo efeito dos ecótonos, que podem perturbar ou favorecer outras espécies, sendo necessário priorizar ferramentas que evitem a fragmentação do habitat e mantenham a conectividade para proteger a biodiversidade (AYRAM et al., 2017).

Aliado a importância da análise da estrutura da paisagem está o uso de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Essas ferramentas são importantes para o fornecimento de informações nas tomadas de decisões, auxiliando na caracterização realizada a partir dos mapas de classes de solo, de declividade, uso da terra, relevo, recursos hídricos, suscetibilidade dos solos à erosão, geologia e geomorfologia, além de avaliar as propriedades mais favoráveis à formação de fragmentos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu possui duas Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável, as APAs (Área de Preservação Ambiental) Baixada Maranhense e Reentrâncias Maranhense, além das TIs (Terras Indígenas) Alto Turiaçu e Awá. E a busca de preservação e/ou conservação de territórios protegidos merecem ser analisados por se tratar de um ecossistema composto por mata ciliar e de várzea, biota aquática e ocupações, predominantemente, de população ribeirinha (LEAL et al., 2023). Sendo assim, o objetivo desse trabalho é analisar a fragmentação florestal na bacia do Turiaçu em um espaço temporal de 32 anos (1990, 2010 e 2022), pois essa área de estudo é um excelente candidato a estudos que busquem metodologias que auxiliem na gestão e planejamento de restauração da conectividade florestal da bacia, visando não somente a conservação da biodiversidade, mas também a qualidade de vida humana.

METODOLOGIA

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu (Figura 1) localiza-se na região amazônica maranhense, possuindo uma área de 14.131,00 km² e ocupando 4,31% do

território estadual (NUGEO, 2016). Além disso, a sua área compreende os limites das Terras Indígenas (TIs) Alto Turiaçu e Awá e as Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável, as APAs (Áreas de Preservação Ambiental) da Baixada Maranhense e Reentrâncias Maranhenses (COSTA; PEREIRA, 2018).

O clima da região de estudo é úmido, apresentando características quente e úmido, dispondo de duas estações bem definidas, a chuvosa e a estiagem, a primeira compreende os meses de dezembro a julho, com índices pluviométricos de 2000 a 2400 mm/ano, e a segunda, começa em agosto e se prolonga até o mês de novembro. A média da temperatura anual está entre 26°C a 32°C e umidade relativa do ar variando entre 79 e 82% (NAVARRO, 2018).

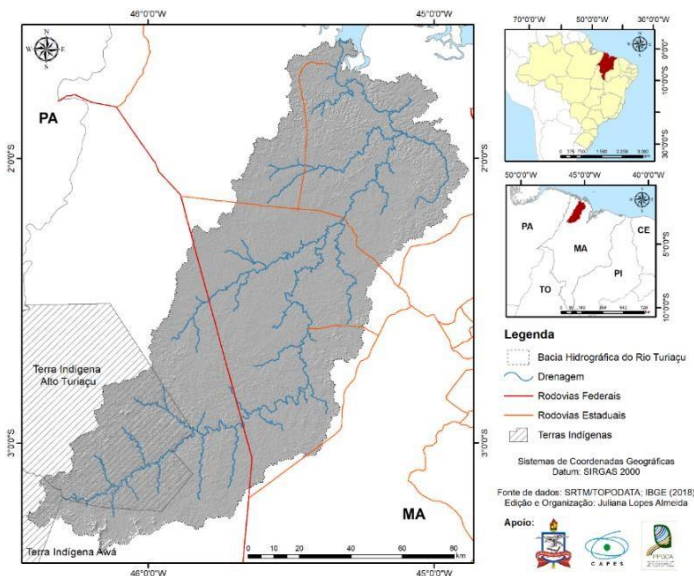


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu
Processamento das Imagens

A análise da dinâmica da fragmentação florestal foi realizada a partir dos dados do Mappiomas dos anos 1990, 2010 e 2022 da coleção 8 com escala 1:250.000 e resolução espacial de 30 metros.

Para o procedimento de aquisição de imagens, foi acessada a plataforma do *Google Earth Engine* (GEE), possibilitando escolher as imagens de cobertura do estado do Maranhão. Após o download dos dados, através do *Software Qgis 3.34.1*, as imagens foram reprojetaadas para o sistema de projeção *Universal Transversal de Mercator* (UTM), SIRGAS 2000, zona 23S e em seguida, o recorte das imagens utilizando o limite da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu. As camadas de uso da terra foram reclassificadas usando a ferramenta “reclassificação por tabela” para obter duas classes, Floresta e Não

Floresta, conforme exposto na Tabela 1. Por fim, o mapa final foi produzido no ArcGis 10.2.

Tabela 1. Descrição das classes do Mapbiomas.

Classes	Descrição das classes
Floresta Alagável	Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta
Não Floresta	Campo Alagado, Formação Campestre, Apicum, Pastagem, Outras Lavouras Temporárias, Área Urbanizada, Mineração, Rios e Lagos

Fonte: Mapbiomas (2023).

Análise das Métricas de Paisagem

A análise dos índices de ecologia da paisagem foi realizada para os anos de 1990, 2010 e 2022 com os dados de uso e cobertura da terra utilizados na etapa anterior. Entretanto, os valores de quantificação da estrutura da paisagem foram obtidos pelo software Fragstat versão 4.2 (MCGARIGAL et al., 2002), utilizando 30m de borda para o cálculo do índice de área central.

Para o cálculo das métricas de paisagem selecionou-se os índices que quantificam os elementos da paisagem, estimando a diversidade da área, densidade, borda, forma, área central, contágio e dispersão (Tabela 2) (MCGARIGAL et al., 2002).

Tabela 2. Métricas utilizadas na quantificação da estrutura da paisagem na Bacia.

Métricas	Sigla e intervalo (unidade)	Grupo
Área de classe	CA > 0 (ha)	
Número de fragmentos	NP ≥ 1 (adimensional)	Área, Densidade e Borda
Área do maior fragmento	0 < LPI ≤ 100 (%)	
Densidade de bordas	ED ≥ 0 (m/ha)	
Índice de forma médio	SHAPE_MN ≥ 1 (adimensional)	Forma
Total de área central	TCA ≥ 0 (ha)	Área central
Número de áreas centrais disjuntas	NDCA ≥ 0 (adimensional)	
Conectividade	0 < COHESION < 100 (%)	Contágio e Dispersão

CA: Área de classe é a área; NP: Número de fragmentos; LPI: Área do maior fragmento; ED: Densidade de bordas; SHAPE_MN: Índice de forma médio; TCA: Total da área central; NDCA: Número de áreas centrais disjuntas; COHESION: Conectividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise da estrutura da paisagem da classe Floresta na Bacia Hidrográfica do Rio Turiçu, nos anos de 1990, 2010 e 2022, definindo uma série temporal de 32 anos, utilizou-se os dados correspondente da base de dados do Mapbiomas, coleção 8 com escala de 1:250.000.

Desta forma, o mapeamento da bacia indicou mudanças substanciais na estrutura da paisagem (Figura 2), evidenciando que a Área da classe (CA) (Tabela 3) da Floresta e Não Floresta apresentaram uma área de 1.046.932,83 ha e 361.282,50 ha, respectivamente, em 1990, a primeira ocupando mais de 74% do território da área de estudo, enquanto a segunda classe apresentou pouco mais de 25%. Em 2010, o valor de CA da Floresta reduziu para 767.277,09 ha, e concomitantemente o da Não Floresta aumentou para 640.938,51 ha. No último ano da análise, em 2022, o km, mapeamento mostrou que a Floresta apresentou menos da metade da ocupação do território da bacia (48,11%) como consequência do avanço da classe Não Floresta (51,89%), constando 677.479,77 ha e 730.736,01 ha, respectivamente.

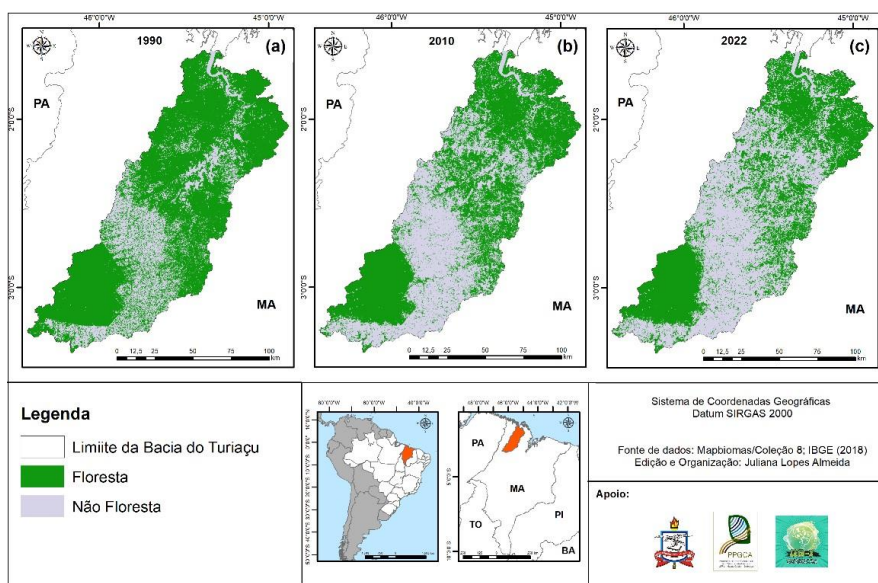


Figura 2. Dinâmica temporal das classes Floresta e Não Floresta.

A conversão de áreas de floresta para não floresta, no período da análise desse trabalho, ocorreu intensamente entre os anos 1990 a 2010, onde a Floresta apresentou uma redução de mais 200.000 ha da sua área de ocupação. Neste mesmo período houve

redução no valor do Número de fragmentos (NP) de 11.035 em 1990 para 10.895 fragmentos em 2010, indicando o desmatamento das áreas fragmentadas. Na Figura 2c, pode-se observar a expansão da fragmentação da floresta por toda área de estudo em 2022, o que corrobora com aumento do número de fragmentos, apresentando 15.127.

A partir desses resultados é possível observar na Figura 2 os locais mais afetados pela perda da vegetação, os quais foram a região de transição alto e médio cursos da bacia do Turiaçu, onde estão estabelecidas as rodovias (BR-316, MA-106, MA-209 e MA-337) que consequentemente afetou na expansão das áreas urbanas e das atividades socioeconômicas. É importante destacar, também, a perda da vegetação no entorno dos limites das TIs. Trabalhos como de Moura et al. (2011) e Celentano et al. (2018) dizem que a redução na cobertura florestal aumentou a pressão sobre as áreas legalmente protegidas e que em 2016 mais de 3 mil km² de florestas das áreas protegidas da região “Mosaico Gurupi” já haviam sido desmatadas.

Os resultados do Índice da área do maior fragmento (LPI) (Tabela 3) apoiam os resultados do NP, demonstrando a intensificação da fragmentação da classe Floresta. Pois em 1990 a classe uma porcentagem de LPI de 51,12%, em 2010 o valor diminuiu para 34,77%. Em 2022 o LPI obteve uma porcentagem de 13,06%.

Tabela 3. Métricas da paisagem para as classes Floresta e Não Floresta da Bacia.

Métricas	1990		2010		2022	
	Floresta	Não Floresta	Floresta	Não Floresta	Floresta	Não Floresta
CA	1.046.932,83	361.282,50	767.277,09	640.938,51	677.479,77	730.736,01
NP	11.035	11.548	10.895	9.531	15.127	8.832
LPI	51,12	14,84	34,77	30,74	13,06	46,23
ED	28,80	28,62	25,83	25,76	29,53	29,48
SHAPE_MN	1,49	1,47	1,40	1,47	1,42	1,49
TCA	814.692,69	146.482,38	551.250,18	426.610,44	448.137,18	481.964,49
NDCA	5.983	7.040	4.956	5.108	6.137	5.358
COHESION	99,96	99,89	99,95	99,92	99,83	99,97

O valor da densidade de borda (ED) (Tabela 3) está ligado diretamente ao número de fragmentos da vegetação, demonstrando o nível do efeito de borda devido ao nível da fragmentação. Desta forma, a classe Floresta apresentou, em 1990, um ED de 28,80 m.h, em 2010, devido a redução da NP na área da bacia, o valor diminuiu para 25,83 m.h, enquanto em 2022, o valor da Densidade de borda aumentou para 29,53 m.h. Sendo assim, entre os anos 2010 a 2022, pode implicar no aumento da densidade de

bordas da classe o que influencia na degradação da paisagem.

Os valores de índice de forma médio (SHAPE_MN) (Tabela 3) mostram que a paisagem apresenta fragmentos florestais de formas próximas a simples, com pequena tendência de tornarem-se irregulares, o que é evidenciado pelo pequeno aumento dos valores no período avaliado: variação de 0,07 nos 32 anos de análise. Resultados semelhantes a esse foram encontrados no trabalho de Calegari et al. (2010) o qual obteve uma variação de 0,078 nos 23 anos análise.

O Total de Área Central (TCA) para a classe Floresta apresentou a diminuição durante o período de análise, onde em 1990 constou uma área de 814.692,69 ha, em 2010 a área reduziu para 551.250,18 ha e em 2022 teve um resultado de 448.137,18 ha. Desta forma, em 1990 o NDCA obteve um valor de 5.983, em 2010 houve uma redução do valor para 4.956, acompanhando, também, a redução do NP para este período. E por último, em 2010, o valor do NDCA voltou a apresentar um aumento, contando um resultado de 6.137 (Tabela 3).

Ao longo do período avaliado, a Conectividade (COHESION) da classe Floresta apresentou valores de 99,96% em 1990, em 2010 o valor caiu para 99,95% e 99,83% em 2022, é possível observar que os fragmentos florestais conseguiram manter uma conectividade física, visto que em 32 anos variou apenas 0,13%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área da classe Floresta teve uma redução significativa no período de 1990 a 2010, sendo que no segundo ano apresentou 140 fragmentos a menos em relação ao primeiro, indicando um aumento considerável do desmatamento nos primeiros anos de análise. A alta fragmentação, observada no último ano de análise, está relacionada ao intenso processo de mudanças no uso da terra ocorridas na região, onde grande parte da cobertura de vegetação nativa foi convertida para outros usos da terra (Não Floresta).

Os resultados da Área do maior fragmento, Densidade de borda e Área central total, no período entre 2010 a 2022 evidenciaram os maiores valores, indicando o avançada fragmentação florestal, provocando o efeito de borda e consequentemente a degradação desses ambientes. Por isso, os remanescentes de vegetação na região da bacia do Turiaçu devem ser objeto de alta prioridade e medidas urgentes para sua conservação.

Palavras-chave: Ecologia de paisagem, Geotecnologias, Biodiversidade, Fragmentação, Conectividade.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Ane, et al. Amazônia em chamas: o novo e alarmante patamar do desmatamento na Amazônia. **IPAM Amazônia**, p. 1-21, 2022.

AYRAM, C. A. C. et al. Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 895-909, 2017.

CALEGARI, Leandro, et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, 2010, 34: 871-880.

CELENTANO, Danielle, et al. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi"-A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos avançados**, 32: 315-339, 2018.

COSTA, Francisco Wendell Dias; PEREIRA, Paulo Roberto Mendes. Gestão Socioambiental nas unidades de conservação do Maranhão: Características, conflitos e perspectivas. **Geografia em Atos (Online)**, v. 1, n. 6, p. 1-24, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites – sistemas Prodes, Deter, Degrad e Queimadas**. São José do Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://www.inpe.gov.br>. Acesso 29 de maio de 2022.

LAWRENCE, Deborah; VANDECAR, Karen. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature climate change**, v. 5, n. 1, p. 27, 2015.

LEAL, Joelson Balieiro, et al. Artisanal fishing activities carried out by fishermen from three riverside communities in the municipality of Abaetetuba, Pará: Atividades de pesca artesanal desempenhada por pescadores de três comunidades ribeirinhas no município de Abaetetuba, Pará. , 2023, 23.17: 213-240.

LEIJA-LOREDO, Edgar G.; PAVÓN, Numa P. The northernmost tropical rain forest of the Americas: endangered by agriculture expansion. **Tropical Ecology**, v. 3, p. 641-652, 2017.

MCGARIGAL, K. S. et al. **Spatial pattern analysis program for categorical maps**. University of Massachusetts, Amherst. 2002.

MOURA, W. C. et al. A Reserva Biológica do Gurupi como instrumento de conservação da natureza na Amazônia Oriental. In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (Org.) **Amazônia maranhense: diversidade e conservação**. Belém: MPEG, 2011. p.24-31

NAVARRO, Alexandre Guida. Morando no meio dos rios e lagos: mapeamento e análise cerâmica de quatro estearias do Maranhão. **Revista de Arqueologia**, v. 31, n, p.

73-103, 2018.

SILVA JUNIOR, C. H.L, et al. Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. **Land Use Policy**, v. 97, p. 104806, 2020.

SMITH, Charlotte C. et al. Corrigendum: Old-growth forest loss and secondary forest recovery across Amazonian countries (2021 Environ. Res. Lett. 16 085009). **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 10, p. 109-501, 2022.

STUART, Simon N. et al. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. **Science**, v. 306, p. 1783-1786, 2004.

Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Centro de Ciências Agrárias. Núcleo Geoambiental. Bacias hidrográficas climatologia no Maranhão / Universidade Estadual do Maranhão. - São Luís, 2016. 165 p.