

## **Geocologia e Métricas de Paisagem como Subsídios ao Planejamento Regional da Amazônia no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil**

*Gabriel Costa da Costa<sup>1</sup>*

*Letícia Moura Ferreira<sup>2</sup>*

*Erick Cristofore Guimarães<sup>3</sup>*

*Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias<sup>4</sup>*

### **RESUMO**

O objetivo do estudo em questão é elaborar cenários de conectividade entre as paisagens naturais remanescentes através de métricas de Ecologia de Paisagem, visando à indicação de corredores ecológicos regionais nos limites do bioma amazônico no Estado do Maranhão, a partir de técnicas do sensoriamento remoto em ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica. A primeira etapa da pesquisa consiste na revisão bibliográfica, para o levantamento das bases teóricas da ecologia da paisagem. A segunda etapa consiste no processamento das métricas das formações florestais referentes ao mapeamento de uso e cobertura da terra do MAPBIOMAS entre 1985 e 2020. A terceira etapa consiste nas análises e discussões dos resultados obtidos a partir dos cálculos das métricas. Constatou-se, os grandes desmembramentos florestais históricos detectados entre o Oeste e Norte do Maranhão, e a detecção de áreas prioritárias para planos de implantação de corredores ecológicos.

**Palavras-Chave:** Manchas, Fragmentação, Métricas.

### **GEOECOLOGÍA Y MÉTRICAS DEL PAISAJE AL SERVICIO DE LA PLANIFICACIÓN REGIONAL DE LA AMAZONÍA EN EL ESTADO DE MARANHÃO, NORESTE DE BRASIL**

### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio es desarrollar escenarios de conectividad entre los restantes paisajes naturales a través de métricas de Ecología del Paisaje, con el objetivo de indicar corredores ecológicos regionales dentro de los límites del bioma amazónico en el Estado de Maranhão, basados en técnicas de teledetección en herramientas de Información Geográfica. Sistemas. La primera etapa de la investigación consiste en una revisión bibliográfica, para relevar las bases teóricas de la ecología del paisaje. La segunda etapa consiste en procesar las métricas de formaciones forestales referentes al mapeo de uso y cobertura del suelo de MAPBIOMAS entre 1985 y 2020. La tercera etapa consiste en el análisis y discusión de dos resultados obtenidos de dos cálculos de las métricas. Se confirman los grandes desmembramientos forestales históricos detectados entre el Oeste y el Norte de Maranhão, y la detección de áreas prioritarias para la implementación de planes de corredores ecológicos.

**Palabras clave:** Spots, Fragmentación, Métricas.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão, UFMA, Brasil. gabrielcostac@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, Brasil. leticiamouferreira@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal do Maranhão, UFMA, Brasil. erick.ictio@yahoo.com

<sup>4</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Educação, Ciências Exatas e Naturais. luizjorgedias@hotmail.com

## Introdução

A Ecologia e a Geoecologia da Paisagem surgiram na primeira metade do século XX com as contribuições e reflexões do biogeógrafo Carl Troll, quatro anos depois do botânico inglês Tansley ter apresentado a definição de ecossistema (NUCCI, 2007), que apesar de ser um termo simples, abrangia toda a complexidade da relação dos fatores bióticos e abióticos na natureza, uma unidade estrutural da paisagem, emerso ou aquático, de caráter homogêneo, da perspectiva topográfica, microclimática, geológica, hidrológica, botânica e zoológica (AB'SÁBER; MARIGO 2009). Nesse sentido, a então nova concepção voltava-se para a compressão geográfica, espacial, das dinâmicas dos diversos tipos de habitats de ambientes não-oceânicos.

Segundo Metzger (2001), o ecólogo da paisagem (bem como o profissional de geoecologia) tende a buscar compreender as problemáticas das relações bióticas com a heterogeneidade espacial. Dessa feita, entende-se a ecologia de paisagem como sendo “o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas com ecossistemas interativos” (FORMAN; GODRON apud METZGER, 2001, s/p).

Para análise das dinâmicas espaciais dos ecossistemas, a atual perspectiva da ecologia da paisagem se baseia em dois principais pontos, quais sejam: a influência de padrões espaciais sobre processos ecológicos e o reconhecimento da influência da escala nos estudos ecológicos (METZGER, 2001). Destacando a importância das configurações espaciais, o tamanho, a forma e o grau de isolamento e/ou de conectividade dos pequenos recortes espaciais paisagísticos chamados de manchas, variáveis conhecidas dentro da ecologia da paisagem como métricas da paisagem, o moderno planejamento biorregional deve ser feito (DIAS *et al.*, 2023). Elas são variáveis quantitativas utilizadas para mensurar os níveis de complexidade dos processos de fragmentação florestal em uma paisagem e analisar os impactos de seus elementos estruturais, como forma, função e dinâmica (CASEMIRO, 2009). Outrossim, são indicadores que permitem análise e avaliação dos padrões geoecológicos dos ecossistemas, indicando os níveis de conectividade, fragilidade e o potencial que o espaço tem de proteger e preservar seus ecossistemas nele inseridos.

O presente trabalho tem por objetivo elaborar cenários de conectividade entre as paisagens naturais remanescentes através de aplicação de métricas de Geoecologia das Paisagens com vistas à indicação de corredores ecológicos regionais, no contexto do Bioma Amazônico no Maranhão, para a indicação de áreas de maior criticidade quanto ao isolamento biogeográfico. Ademais, visa avaliar os indicadores de integridade dos fragmentos de paisagens naturais remanescentes como uma estratégia de identificar as conexões possíveis entre os maiores blocos de coberturas naturais.

Pesquisas no campo da geoecologia de paisagens, de macro escala, na região amazônica, ainda são escassas e os resultados obtidos por meio da análise de métricas de paisagem, permite avaliar e subsidiar planos de conservação e mitigação de impactos ambientais, permitindo apontar paisagens fragilizadas, cenários de conectividade entre fragmentos florestais e áreas que necessitam de corredores ecológicos.

## Materiais e Métodos

Tendo em vista a necessária articulação metodológica para a execução da pesquisa ora relatada, que tem caráter estruturalista, baseada na Teoria Geral dos Sistemas, e com base computacional, são apresentadas a articulação da área de estudos, a seguida definição dos procedimentos de aferição quantitativa de métricas, bem como a consecução dos resultados estabelecidos.

A área de estudo compreende a porção do Bioma Amazônico inserida no território do estado do Maranhão, em que ocupa a sua porção mais a Oeste e Nor-Noroeste. Essa região está localizada no extremo Leste dessa macrorregião biogeográfica Sul-Americana e representa *di per si* a parte oriental do Centro de Endemismo Belém (SANTOS *et al.*, 2024).

O limite do bioma amazônico no Estado do Maranhão, utilizado ao longo da pesquisa, possui proximamente 111.060 km<sup>2</sup>, o qual cruza o limite de 109 dos 217 municípios presentes nessa Unidade Federativa, o que equivale a aproximadamente 33,45% do território maranhense.

Os alicerces teóricos que sustentam a elaboração desse estudo foram construídos a partir de revisão bibliográfica especializada. Como maiores exemplos de trabalhos dessa natureza, seguem em destaque os trabalhos de Scariot (1998), Santos e Machado (2015), Teixeira *et al.*, (2016) e Barros (2018). A natureza metodológica seguida nesse estudo se assemelha à abordagem histórica da Ecologia de Paisagem apresentada por Metzger (2001), por Dias *et al.*, (2023) e por Reis *et al.*, (2024).

Os dados georreferenciados utilizados para o cálculo de métricas da paisagem, produção e análise cartográfica foram oriundos do mapeamento de uso e cobertura da terra do MAPBIOMAS (2023), disponibilizados por meio de um script inserido em um *toolkit* aberto no *Google Earth Engine*, que permite o usuário fazer a aquisição da série histórica de mapeamento do território brasileiro a partir de qualquer delimitação vetorial georreferenciada. As métricas de paisagem selecionadas para o atendimento dos objetivos propostos foram as seguinte:

- a) Número de fragmentos;
- b) Densidade dos Fragmentos;
- c) Tamanho médio dos fragmentos;
- d) Índice de maior mancha; e
- e) Distância Euclidiana.

As classes de cobertura natural selecionadas para análise, tendo como critério as coberturas mais relevantes no contexto do Bioma Amazônia no Estado do Maranhão foram as formações florestais, os mangues e apicuns. Todos os dados apresentados foram obtidos mediante processamento e análise da base de dados no Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.10, as métricas foram calculadas a partir das ferramentas de cálculo e de análise geostatística. Foram selecionados para a análise histórica um ano de cada uma das cinco últimas décadas, sendo eles 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020.

## Resultados e Discussões

As formações florestais, tipologia mais evidente nos produtos cartográficos elaborados, por ocupar o maior percentual de área em km<sup>2</sup> que as demais, e o maior total de fragmentos na paisagem, está distribuída em todo o limite interno do bioma, incluindo as áreas de ecótonos (faixas de transição entre ecossistemas e biomas) sobretudo em direção aos Cerrados do Leste e Centro-Sul maranhenses e nas proximidades da faixa oriental do Golfão Maranhense, maior reentrância do litoral do estado nordestino em questão.

As formações florestais, de modo geral, correspondem aos remanescentes florestais de alta densidade, formações ombrófilas densas, abertas, estacionais, decíduais e semidecíduais. Também são coberturas resultantes de processos naturais de sucessão. No caso da Amazônia no Maranhão, as coberturas aluviais também são assim classificadas e configuram os corredores de vegetal ao longo das margens dos cursos d'água, planícies e terraços sujeitos a inundações temporárias ou perenes.

Nesse sentido, o imenso quantitativo de perda de formações florestais entre 1985 e 2020 é perceptível na série de mapas. Grande parte das florestas restantes em 2020 são correspondentes às áreas institucionalmente protegidas, como Terras Indígenas e as Unidades de Conservação de Proteção Integral. Já as coberturas de mangues estão todas concentradas no seu hábitat natural, que é o sistema costeiro, em uma faixa que se estende do extremo oeste do litoral do Estado do Maranhão até a Baía de Tubarão, que está localizada a leste da Ilha do Maranhão. Essa faixa, integra um arco de mangues maior, que se estende pelo litoral Norte do território brasileiro, é considerada a segunda maior cobertura de mangues do mundo.

De forma a elucidar as questões relativas ao número de fragmentos observados, em 1985 as formações florestais possuíam 94,41% do total de fragmentos de todas as classes apresentadas. Esse percentual oscilou entre 94% e 95% nos anos que se sucederam, até 2020, sendo a classe, entre as analisadas, com maior número de fragmentos. Contudo, entre 1995 e 2005, o número de fragmentos sofreu uma queda de aproximadamente 8,24%, o que não significa afirmar que os fragmentos florestais de 1995 se reconectaram em 2005, mas ocorreu uma perda considerável de área de floresta na Amazônia maranhense. Em outros termos, os fragmentos não se reconectaram, eles desapareceram.

Ademais, percebe-se que a diminuição percentual entre 1985 e 2005 ainda é menor em relação ao percentual de aumento entre 1985 e 1995, ou seja, 2005 apresentou, mesmo com a diminuição, um total de fragmentos maior que em 1985. A partir de 2005, o número de fragmentos começa a aumentar gradualmente, até que em 2020, caiu para 330.611, evidenciando um aumento de aproximadamente 7,93% no número de fragmentos entre 1985 e 2020 na Amazônia maranhense, tendo ultrapassado o valor de 400.000 fragmentos em 1995 e 2015. As Figuras 1 a 5 apresentam a evolução consubstanciada da distribuição geoespacial dos conjuntos de fragmentos na Amazônia Maranhense.

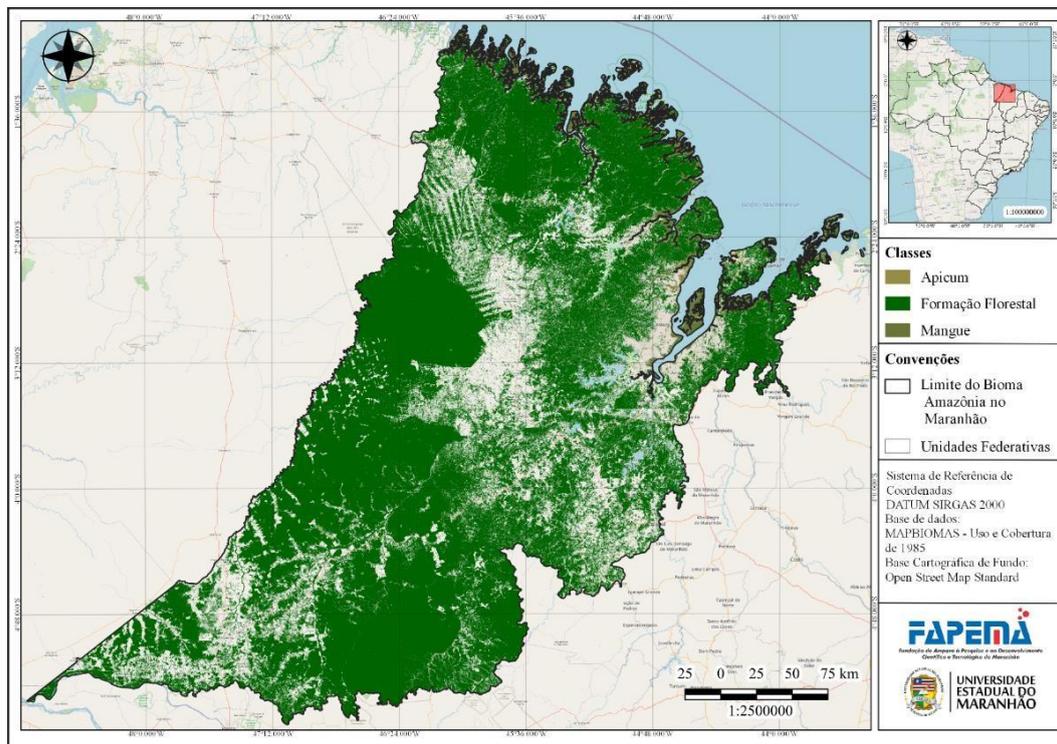
Faz-se mister destacar que essa métrica, o número de fragmentos, é absolutamente relevante para estabelecer as possibilidades de consecução de projetos que visem à diminuição do desmatamento, o planejamento de restauração de paisagens e a articulação de novas formas de adensamento de coberturas vegetais com espécies nativas. Contudo, não há até o presente momento esforços públicos ou privados na região visando à proteção da natureza a partir desse tipo de abordagem.

As áreas de mangues e apicuns, foram submetidas a uma dinâmica semelhante ao longo desse mesmo período, com aumento no número de fragmentos entre 1985 e 1995, rápida diminuição entre 1995 e 2005, e aumento a partir de 2005. Os mangues e apicuns estão mais localizados no sistema costeiro do Bioma Amazônia no Estado do Maranhão, sendo considerados Áreas de Preservação Permanentes (APPs), de acordo com o artigo 4º da Lei Federal nº 12.651/2012. A fragmentação dos mangues está em muitos casos associada às barreiras naturais das Reentrâncias Maranhenses e Paraenses, como é o caso das ilhas presentes na costa Noroeste do Estado do Maranhão.

Quanto à métrica densidade dos fragmentos, as formações florestais tendem a seguir a mesma dinâmica do total de fragmentos, o que é comum, pois essa métrica está diretamente relacionada ao quantitativo de fragmentos da classe, com um aumento entre 1985 e 1995. Isso foi seguido de ligeira queda entre 1995 e 2005 e de aumento desse ano até 2015, com nova diminuição até 2020, que chegou a 2,97 fragmentos florestais por km<sup>2</sup>.

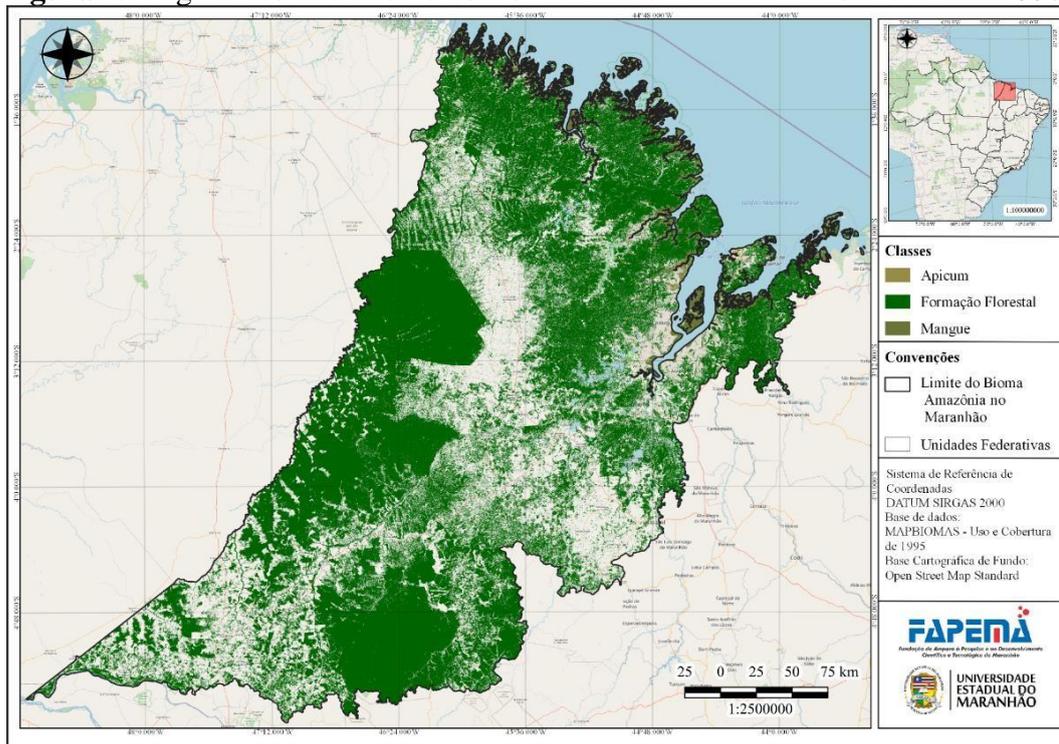
É importante destacar que menor for o tamanho das áreas dos fragmentos e maior a quantidade de unidades de fragmentos, maior será a densidade, permitindo com que, por km<sup>2</sup>, existam muitos fragmentos desconexos, evidenciando um preocupante impacto, principalmente em espécies que necessitam de mais de um km<sup>2</sup> como tamanho mínimo de habitar. Esse é o caso da biodiversidade típica das formações florestais na Amazônia no Estado do Maranhão, em 2020, a sua conjuntura de espécies, contava com uma média de pouco menos de três fragmentos por km<sup>2</sup>.

**Figura 1.** Fragmentos de áreas florestais na Amazônia Maranhense no ano de 1985.



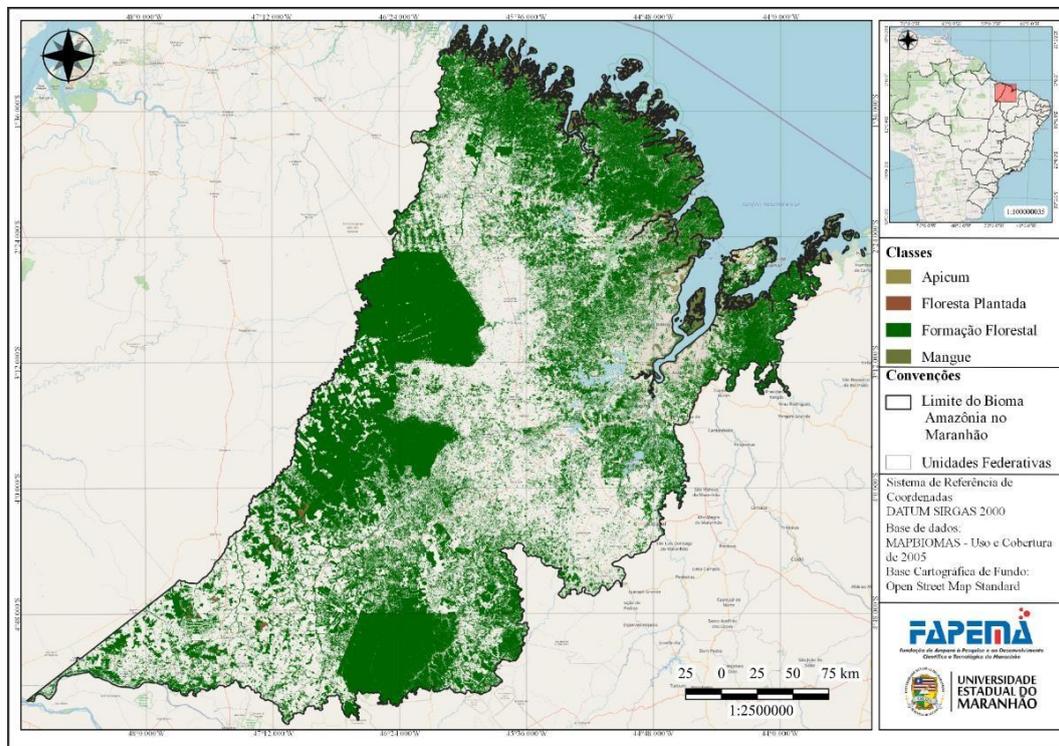
Fonte: Autoria Própria, 2024.

**Figura 2.** Fragmentos de áreas florestais na Amazônia Maranhense no ano de 1995.



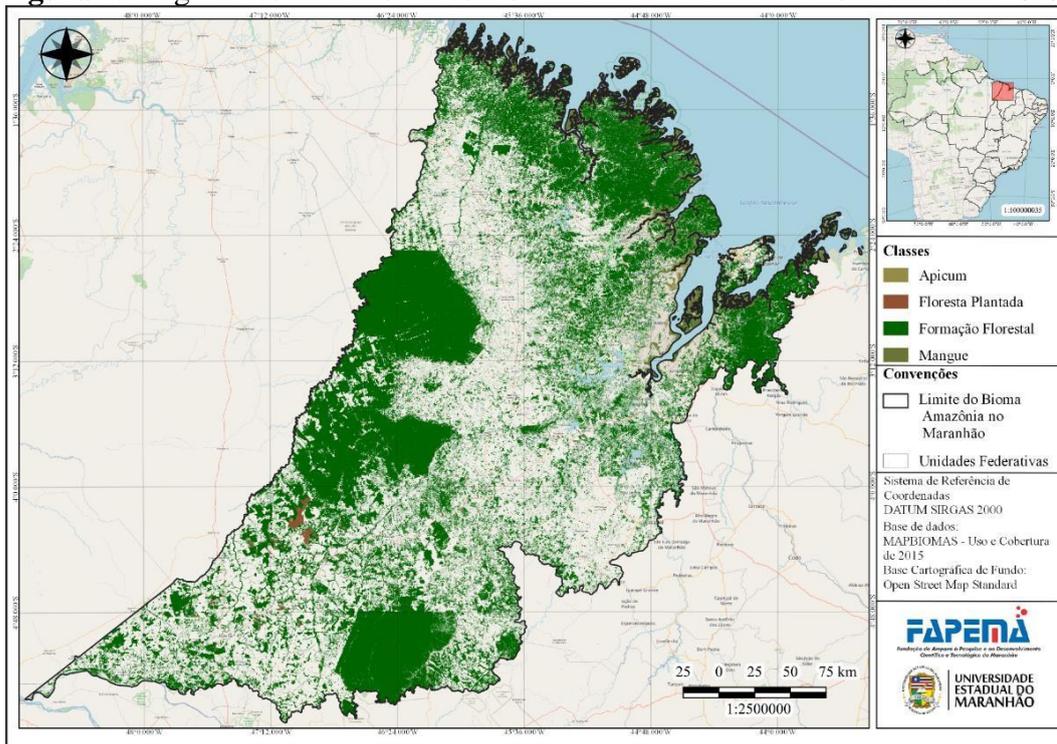
Fonte: Autoria Própria, 2024.

**Figura 3.** Fragmentos de áreas florestais na Amazônia Maranhense no ano de 2005.



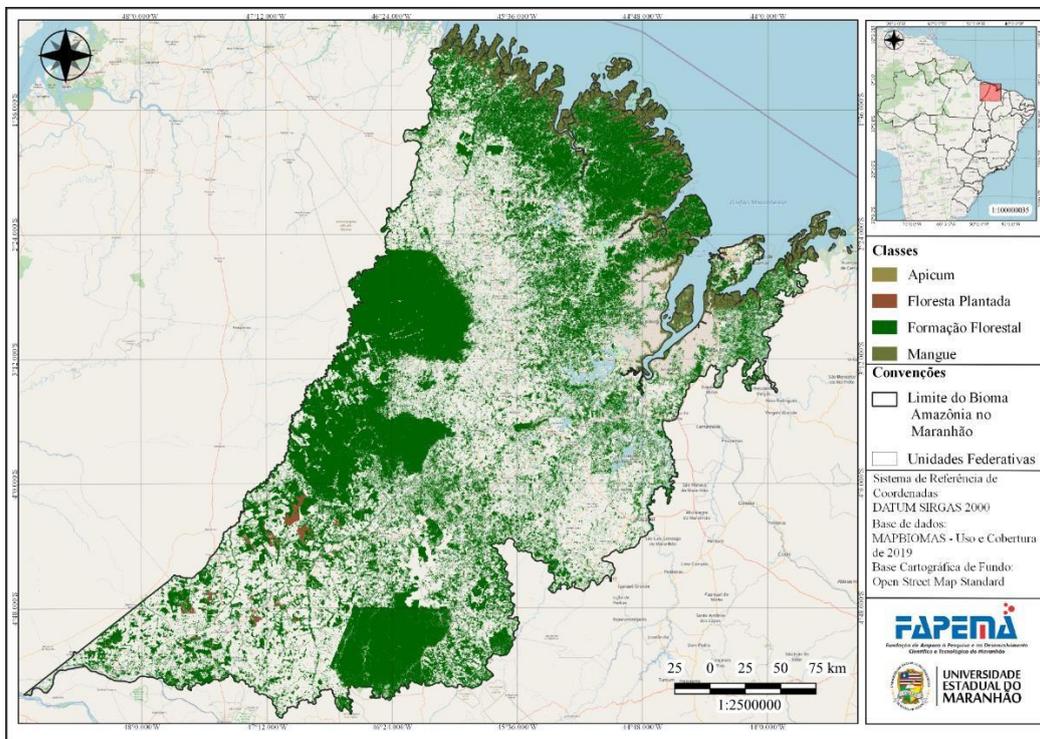
Fonte: Autoria Própria, 2024.

**Figura 4.** Fragmentos de áreas florestais na Amazônia Maranhense no ano de 2015.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

**Figura 5.** Fragmentos de áreas florestais na Amazônia Maranhense no ano de 1985.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

As áreas de mangues, apresentaram a segunda maior densidade entre 1985 e 1995. No entanto, em 2005, foi ultrapassada pelas áreas de Apicum, que chegaram aos 0,08 fragmentos por km<sup>2</sup> em 2015, mas diminuíram para 0,06 em 2020, mas não alcançou os 0,09 fragmentos por km<sup>2</sup> alcançados pelas áreas de mangue aferidas tecnicamente como métrica original aplicável ao ano de 1985.

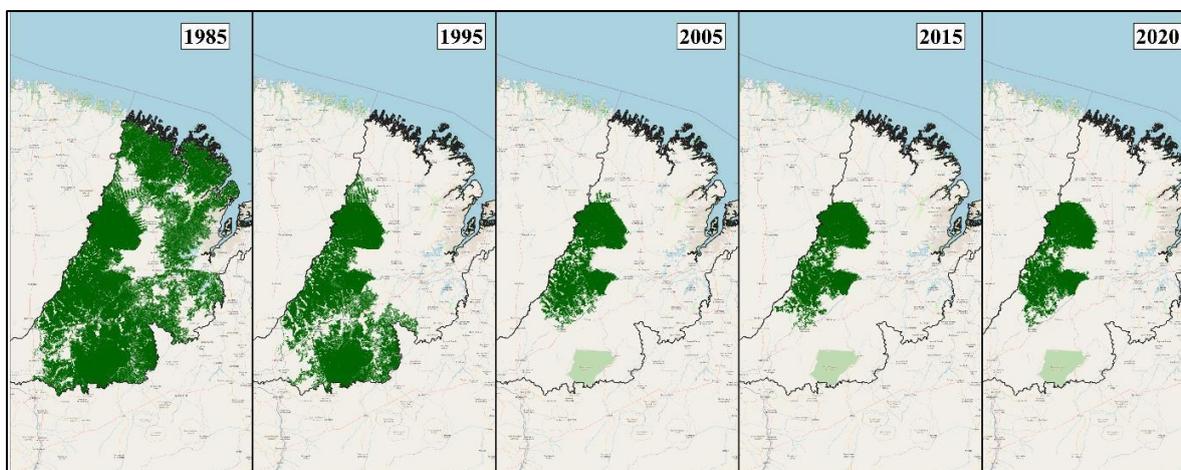
Ao relacionar o tamanho médio dos fragmentos com o total de fragmentos das formações florestais, evidencia-se um cenário de preocupação em relação a essa classe no Bioma Amazônia no Maranhão. Isso porque o tamanho médio dos fragmentos está diminuindo e o número de fragmentos está aumentando desde 2005. Em outros termos os fragmentos de floresta que restam na Amazônia, estão se dividindo cada vez mais e estão se tornando cada vez menores. Em 1995, 2005 e 2015, a média de tamanho dos fragmentos das formações florestais, foi, respectivamente, 0,15, 0,13 e 0,11km<sup>2</sup>. Tal cenário gera uma preocupação no que diz respeito a conservação efetiva desses tipos de ecossistemas, uma vez que a tendência dos processos de fragmentação tende a prejudicar bastante espécies que necessitam de grandes áreas de *habitat*, como os médios e grandes mamíferos.

Por seu turno, as áreas de apicum, que em 1985, possuíam o menor tamanho médio mensurado para as classes estudadas, em todos os anos, chegando a faixa dos 0,02km<sup>2</sup>, aumentou para 0,03km<sup>2</sup> em 1995. Já em 2020 apresentou os mesmos quantitativos areais do primeiro ano mensurado. As áreas de apicum apresentaram uma diminuição entre 1995 e 2005, mesmo período em que a área total de mangues apresentou um aumento.

A oscilação na área total dos mangues no bioma amazônico, no Estado do Maranhão, nos anos analisados, não ultrapassou o intervalo entre 3.883,50 e 3.916,40km<sup>2</sup>, e boa parte de sua fragmentação, como já abordado, se dá pela estruturação geomorfológica da costa da Amazônia maranhense, com a presença de uma contínua faixa de reentrâncias que fragmenta o litoral em pequenas ilhas, ora as conectando ao continente, ora as insulando.

Em 1985, os fragmentos de mangues possuíam um tamanho médio de 0,37km<sup>2</sup>, tendo caído para 0,36km<sup>2</sup> em 1985, seguido de um considerável aumento em 2005, de 0,52 – maior tamanho médio de todas as classes, em todos os anos analisados, assim permanecendo em 2015 – e diminuindo novamente em 2020 para 0,47km<sup>2</sup>. Por outro lado, o maior fragmento encontrado no território analisado se refere à classe de formações florestais, e se refere a mesma região, que diminuiu gradualmente ao longo dos anos analisados. A Figura 6 apresenta a espacialização e perda desse remanescente florestal e o quantitativo de área reduzida nos anos analisados.

**Figura 6.** Redução espacial do maior fragmento de formações florestais no Bioma Amazônia no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil entre 1985 e 2020.



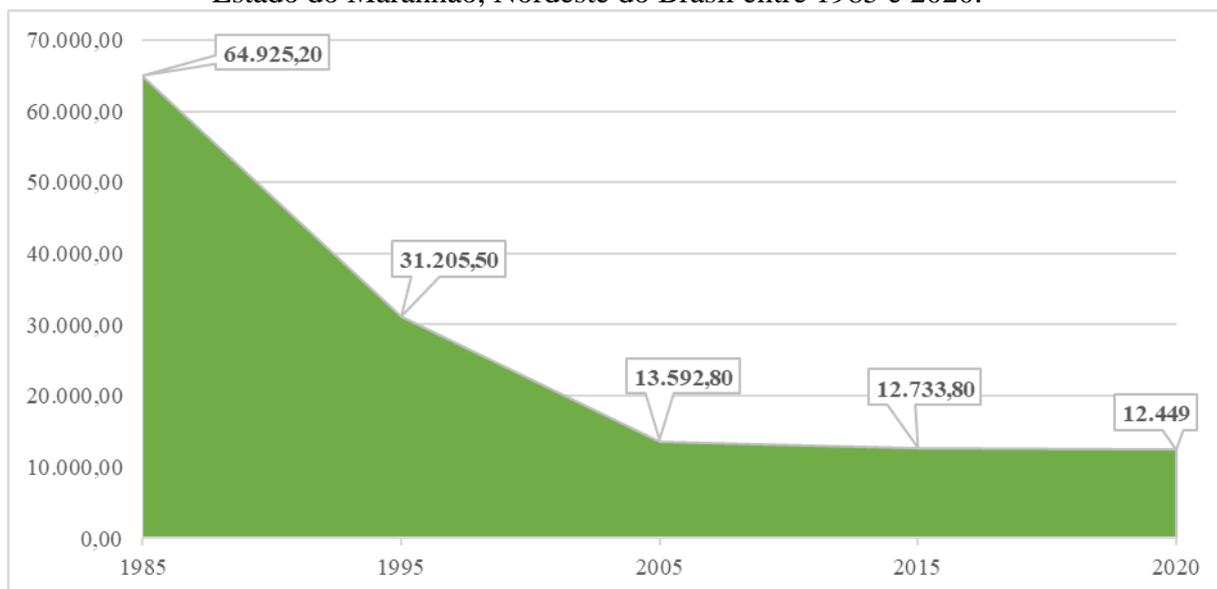
Fonte: Autoria Própria, 2024.

Essa métrica para a tipologia de classe analisada apresenta um detalhe curioso, porém concreto: a maior mancha de florestas na Amazônia Maranhense é equivalente ao Mosaico Gurupi (DIAS, 2019), articulação de áreas protegidas formada por Terras Indígenas e pela Reserva Biológica do Gurupi.

O maior remanescente florestal do bioma amazônico no Estado do Maranhão, em 1985, ocupava uma extensão territorial de aproximadamente 64.925,20 km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 58,45% da região. Essa métrica evidencia os maiores desmembramentos florestais ocorridos na Amazônia Maranhense nas últimas décadas. Essa extensa fragmentação ocorreu devido à perda de conectividade por desmatamentos e queimadas, sobretudo, existentes nos territórios municípios de Santa Luzia, Alto Alegre do Maranhão, Bom Jardim, Santa Inês, Tufilândia e Monção, municípios localizados mais ao centro do Estado, e no Oeste, nos limites municipais de Santa Luzia do Paruá e Maranhãozinho.

Entre as décadas de 1980 e 1990 o cenário das florestas da Amazônia maranhense mudou bruscamente. A extensão do maior fragmento de floresta em 1995 era de aproximadamente 31.205,50 km<sup>2</sup>. Uma redução percentual de 51,92% do maior fragmento de formações florestais ante os 64.925,20 km<sup>2</sup> presentes em 1985. Desde então houve sensíveis perdas de coberturas florestais, conforme indicado na Figura 7.

**Figura 7.** Perda gradual (em km<sup>2</sup>) do maior remanescente florestal no Bioma Amazônia no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil entre 1985 e 2020.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Aliás, as condições do maior remanescente florestal no Bioma Amazônia no Maranhão em 1985 influenciaram as configurações paisagísticas saudáveis apresentadas pelas métricas analisadas para aquele momento, em comparação aos anos que se sucederam. No maior fragmento florestal, o nível de conexão que os corredores ecológicos permitiam ao alcance territorial dessa mancha englobar áreas protegidas consideravelmente distantes, as terras indígenas Araribóia, Alto Turiaçu e Geraldo Toco Preto. A mancha também englobava limites que correspondem, atualmente, a unidades de conservação também consideravelmente distantes.

O maior fragmento de floresta em 1985 conseguia conectar as áreas que hoje correspondem aos atuais limites da Reserva Biológica do Gurupi e a Área de Proteção Ambiental (APA) das Reentrâncias Maranhenses. Ou seja, uma espécie, com alta habilidade migratória, conseguia sair da floresta que hoje corresponde a REBIO Gurupi, e chegar até as coberturas de mangues das reentrâncias, seguindo as formações florestais. Nos anos posteriores da presente análise, essa situação já era praticamente impossível de ser realizada. O ano de 1995 apresenta o processo de um grande desmembramento das formações florestais em sentido Norte-Oeste, fazendo com que a maior mancha fosse correspondente, pela primeira vez, ao extremo Oeste maranhense. Esse comparativo evidencia o quão impactante pode ser a perda dos corredores ecológicos, podendo prejudicar e ocasionar uma perda considerável nas maiores formações florestais da paisagem.

A tendência apresentada na Figura 7 referente a área total da maior mancha, é de constante declínio das formações florestais entre todos os anos analisados, o que apresenta um cenário de tendência de maior fragmentação dessa área, que em 2020, tinha apenas 12.449,00 km<sup>2</sup>, uma redução percentual de 80,82% na área total do maior fragmento de formação florestal entre 1985 e 2020 no Bioma Amazônia no Estado do Maranhão. A maior mancha em 2020, correspondia a 11,20% de toda a extensão da paisagem, uma diferença consideravelmente impactante em relação a 1985, em que essa cobertura florestal correspondia a mais da metade da área total da paisagem biorregional.

Os corredores ecológicos que se desmembraram, em sua maioria, correspondem à faixa cortada pelas rodovias federais BR-010, BR-222 e BR-316, bem como nos eixos de implantação de linhas de transmissão e de operação da Estrada de Ferro Carajás (EFC). A tendência temporal dos valores do tamanho da maior mancha nos anos analisados, é de constante declínio, o que apresenta um cenário de tendência de maior fragmentação dessa área, que em 2020, tinha apenas 12.449,00 km<sup>2</sup>, uma redução percentual de 80,82% na área total do maior fragmento de formações florestais entre 1985 e 2020 na Amazônia Maranhense.

Faz-se necessário, ainda, indicar que para o planejamento biorregional os corredores ecológicos funcionam como extensos conectivos de paisagens naturais que permitem a mobilidade da biodiversidade entre *habitats* desconexos e/ou distantes. De acordo com a Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que regulamenta o SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação, em seu artigo 2º, inciso XIX, define os corredores ecológicos como “porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota”.

Os corredores ecológicos auxiliam a dispersão de populações de espécies em ambientes fortemente atingidos por processos de degradação estrutural de seus habitats, garantindo assim a sobrevivência dessas espécies e a preservação da biodiversidade. Na Amazônia maranhense, percebe-se, a partir das métricas já analisadas, um intenso e grave processo de fragmentação, sendo um bioma que abriga uma considerável biodiversidade, a implantação de corredores ecológicos se torna cada vez mais necessária.

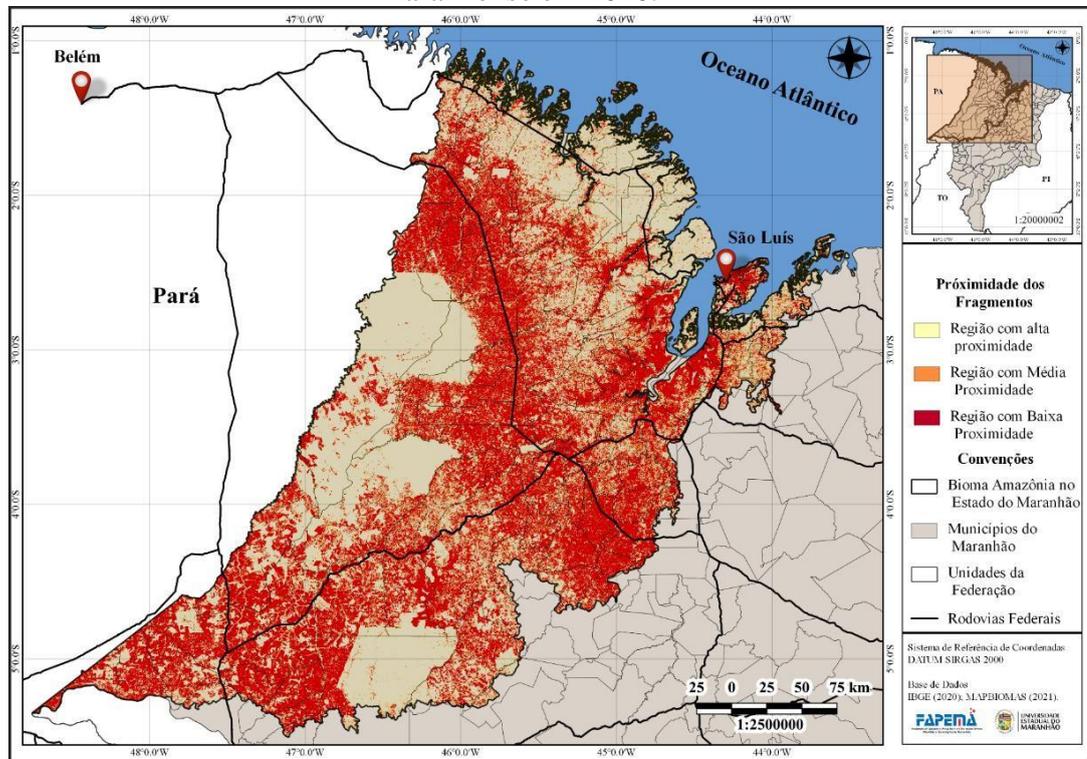
Com esses princípios em vista, a métrica distância euclidiana entre fragmentos deve ser evocada, uma vez que ela apresenta cartograficamente se há ou não condições de conexão das unidades de paisagens remanescentes em uma articulação biorregional, tem-se ciência das regiões que possuem fragmentos mais distantes, possibilitando assim, a interpretação das áreas prioritárias para planos de ação que visam mitigar os processos de degradação estrutural dos ecossistemas. De acordo com Neves *et al.*, (2014), com a distância euclidiana têm-se as áreas com fragmentos mais conectados e as áreas com fragmentos com maior grau de isolamento.

No mapa disposto na Figura 8 é apresentada uma categorização em três níveis de conexão em relação aos fragmentos, quais sejam: regiões com alta proximidade; regiões com médias proximidade; regiões com baixa proximidade. As regiões com alta proximidade entre fragmentos, de modo geral, coincidem com as áreas de formações florestais, mangues e apicuns e são terrenos que possuem fragmentos com uma distância máxima de 100 metros.

Percebe-se, a partir da espacialização das áreas com fragmentos mais longínquos, que essas regiões correspondem as faixas nas quais as rodovias perpassam. As regiões com média proximidade entre os fragmentos, são de modo geral, imperceptíveis, devido ao fato de seus tamanhos serem menores, em comparação com a área total da paisagem. São regiões em que a distância entre os fragmentos está entre 100 e 30 metros.

As regiões com baixa proximidade entre os fragmentos são o destaque do mapa, são as áreas que devem ser consideradas prioritárias para planos de ação de implementação de corredores ecológicos, os fragmentos florestais dessas regiões, manchadas em vermelho no mapa, possuem uma distância acima dos 500m. O valor selecionado, durante o processamento da distância euclidiana dos fragmentos da paisagem, como parâmetro para distância máxima, foi de 10.000m, ou seja, 10km. As áreas definidas em vermelho na cartografia correspondem as àquelas que abrigam fragmentos mais isolados, com as maiores distâncias detectadas entre as manchas.

**Figura 8.** Distância euclidiana dos fragmentos de cobertura natural da Amazônia maranhense em 2020.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

As regiões com baixa proximidade entre os fragmentos são o destaque do mapa, são as áreas que devem ser consideradas prioritárias para planos de ação de implementação de corredores ecológicos, os fragmentos florestais dessas regiões, manchadas em vermelho no mapa, possuem uma distância acima dos 500m. O valor selecionado, durante o processamento da distância euclidiana dos fragmentos da paisagem, como parâmetro para distância máxima, foi de 10.000m, ou seja, 10km. As áreas definidas em vermelho na cartografia correspondem as àquelas que abrigam fragmentos mais isolados, com as maiores distâncias detectadas entre as manchas.

O atropelamento de animais silvestres, é um exemplo de uma fatalidade relacionada aos processos de fragmentação dos habitats e das distâncias entre os remanescentes florestais, por exemplo. Os animais silvestres podem atravessar rodovias devido à busca por alimentos ou a presença de algum atrativo nas margens da rodovia, como lagos, rios e entradas de acessos para outros fragmentos florestais. E por falta de elementos paisagísticos de conexão, acabam por ser vitimadas pelo trânsito. Além disso, com áreas cujos fragmentos estão muito distantes entre si haverá mais efeito de borda, ou seja, ressecamento das margens dos fragmentos, com suscetibilidade à ocorrência de queimadas.

A faixa que se estende ao longo da BR-316, já citada anteriormente, se destaca, no que desrespeito as áreas que necessitam da implantação de corredores ecológicos. É importante frisar, que nessa mesma faixa da paisagem, entre 1985 e 1995, de acordo com a métrica do índice de maior mancha, ocorreu um grande processo de desmembramento entre a cobertura florestal Norte e do Oeste (Mosaico Gurupi) do Bioma Amazônia no Maranhão.

Tal desmembramento se processou devido à perda dos corredores que conectavam ambas regiões florestais, que permitiam a circulação das espécies em praticamente toda extensão da paisagem. A recuperação desses corredores ecológicos é essencial para a mitigação dos processos graduais de fragmentação biorregional. A proposta de implantação de corredores ecológicos não tem apenas relação com o quantitativo dos fragmentos e a extensão de área que eles ocupam na paisagem. Eles devem engendrar a compreensão dos principais processos históricos de desmembramentos das coberturas florestais que levaram a mais recente configuração espacial, dessa forma, tem-se a localização dos principais corredores de florestas, que foram perdidos, corredores esses que conectavam os principais remanescentes florestais no Bioma Amazônia no Estado do Maranhão.

## **Considerações Finais**

Os remanescentes florestais do bioma amazônico no Estado do Maranhão têm sofrido intensos processos de fragmentação e perda de área nas quatro últimas décadas. As formações florestais são as mais intensamente fragmentadas, as florestas estão diminuindo e os remanescentes restantes estão se fragmentando cada vez mais, as coberturas de mangues, presentes em sua maioria, das classes analisadas, é a segunda maior em termos de fragmentação, seguido das áreas de apicum e áreas de silvicultura.

Entre todos os processos de fragmentação de 1985 a 2020 na Amazônia maranhense, destacam-se os maiores desmembramentos das formações florestais no intervalo de 1985 a 1995, ocorridos na faixa territorial entre limites municipais de Santa Luzia, Alto Alegre do Maranhão, Bom Jardim, Santa Inês, Tufilândia e Monção, municípios localizados na porção Centro-Nordeste do Bioma Amazônia no Maranhão, e no Oeste, nos limites municipais de Santa Luzia do Paruá e Maranhãozinho, bem como no trecho da Amazônia maranhense que é cortado pelas BR-010, BR-222 e BR-316.

Portanto, as métricas analisadas apontam para quais são as regiões prioritárias para planos de ação de implantação de corredores ecológicos, uma vez que, a restauração desses corredores, tende a recuperar as conexões de habitats perdidas devido os processos de fragmentação dos ecossistemas, e dessa forma, reestabelecendo grande parte da configuração espacial do Bioma Amazônia no Estado do Maranhão.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) pela consecução de bolsa de pesquisa de Iniciação Científica ao primeiro autor deste trabalho durante os anos de 2000 e 2021. Igualmente manifestam seus agradecimentos à Universidade Estadual do Maranhão pelo apoio logístico na disponibilidade de equipamentos computacionais para a aferição das métricas aqui trabalhadas.

## Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. MARIGO, L.C. **Ecossistemas do Brasil**. Editora Bilíngue. São Paulo, 2009.
- BARROS, M. P. Métricas da paisagem como ferramenta de avaliação dos efeitos da urbanização na estrutura da paisagem: o caso de Cuiabá, Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 411, 12 dez. 2018. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e42018411-432>.
- CASEMIRO, P. C. Estrutura, composição e configuração da paisagem conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, jan. 2009. <http://dx.doi.org/10.59072/rper.vi20.275>
- DIAS, L. J. B. (org.). **Zonificação do território: etapa Bioma Amazônico**. São Luís: IMESC, 2019. 142p.
- DIAS, L. J. B.; COSTA, G. C.; FERREIRA, L. M.; COSTA, A. P.; GUIMARÃES, E. C.; OLIVEIRA, T. G. de. Evolução da dinâmica das pressões antropogênicas sobre paisagens naturais do Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 96, p. 212–233, 2023. <http://dx.doi.org/10.14393/RCG249668694>
- MAPBIOMAS. **Coleção 6**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/map/colecao-6/>. Acesso em: 08. Mar. 2023.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**. V. 1, n. 1, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>
- NEVES, L. F. de S.; NEVES, S. M. A. da S.; CANALE, G. R. Análise da fragmentação de Cerrado na bacia hidrográfica do rio Aguapeí, Porto Esperidião (MT): um estudo de caso a partir das geotecnologias e métricas da paisagem. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 8, n. 2, p. 130–149, 2014. <https://doi.org/10.5216/ag.v8i2.21557>
- NUCCI, J. C. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**. Curitiba, v. 2, n. 1, p.77-99, 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v2i1.7722>
- QGIS Development Team, <YEAR>. QGIS Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**, 2024.
- REIS, B. M. C. B.; MENDES, N. S.; COSTA, A. P.; DIAS, L. J. B. S.; COSTA, G. C. Análise geoecológica do Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental, por métricas de paisagem. In: CORRÊA, A. C. B.; LIRA, D. R.; CAVALCANTI, L. C. S.; SILVA, O. G.; SANTOS, R. S. (Orgs.). **Mudanças ambientais e as transformações da paisagem no Nordeste brasileiro**. Ananindeua: Itacaiunas, 2024. p. 2.602-2.616.
- SANTOS, A. A.; MACHADO, M. M. M. Análise da fragmentação da paisagem do Parque Nacional da Serra da Canastra e de sua zona de amortecimento - MG. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 33, p. 75, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v33i0.36331>.

Costa, Gabriel Costa da; Ferreira, Letícia Moura; Guimarães, Erick Cristofore; Dias, Luiz Jorge Bezerra da Silva. *Geoecologia e Métricas de Paisagem como Subsídios ao Planejamento Regional da Amazônia no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil*. Revista Pantaneira, V. 24, EDIÇÃO ESPECIAL CIGEPAM(UFC), UFMS, Aquidauana-MS, 2024.

SANTOS, E. M.; MENDES, N. S.; OLIVEIRA, P. L. C.; DIAS, L. J. B. S. Compreensão do Centro de Endemismo Belém através de ferramentas de sensoriamento remoto. In: CORRÊA, A.C.B.; LIRA, D.R.; CAVALCANTI, L.C.S.; SILVA, O.G.; SANTOS, R.S.. (orgs.). **Mudanças ambientais e as transformações da paisagem no Nordeste brasileiro**. Ananindeua: Itacaiúnas, 2024. p. 2.546-2.558.

SCARIOT, A.. Conseqüências da fragmentação da floresta na comunidade de palmeiras na Amazônia central. **Série Técnica IPEF** v. 12, n. 32, p. 71-86, 1998.

TEIXEIRA, G. G.; REDONDO, G.; QUESADA, H. B.; FERREIRA, I. J. M.; COUTO, E. V. Métricas de ecologia de paisagem em ambiente SIG para análise dos fragmentos florestais da bacia do Rio Claro – PR. **XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste**. Brasília. 2016.