

## DINÂMICA ESPACIAL DO USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BACANGA: CONTRASTES ENTRE O MAPBIOMAS E A IDENTIFICAÇÃO VISUAL (2013-2023)

**Natália Valéria Braga Sousa**

Universidade Federal do Maranhão

[nvbs.ss.18@gmail.com](mailto:nvbs.ss.18@gmail.com)

**Larissa Nascimento Barreto**

Universidade Federal do Maranhão

[larissa.barreto@ufma.br](mailto:larissa.barreto@ufma.br)

**Eferson Marchezan de Oliveira Braga**

Universidade Federal do Maranhão

[eferson.marchezan@gmail.com](mailto:eferson.marchezan@gmail.com)

**Resumo:** Este estudo analisa as mudanças no uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga (BHRB), Ilha de São Luís – Maranhão, entre 2013 e 2023, utilizando dados do MapBiomias e Identificação Visual. A combinação dessas metodologias revelou a expansão urbana desordenada como principal fator de impacto ambiental, promovendo a homogeneização da paisagem, redução dos fragmentos e ampliação da área urbanizada, sobretudo ao norte e nordeste da bacia. As classes dominantes foram Área Urbanizada e Vegetação Natural, evidenciando a pressão antrópica sobre ecossistemas sensíveis, como manguezais e áreas alagáveis. A análise das métricas de paisagem apontou maior fragmentação e perda de conectividade ecológica, intensificando vulnerabilidades socioambientais, como enchentes, redução da biodiversidade e comprometimento de serviços ecossistêmicos. Com base nos achados, propõem-se estratégias em cinco eixos: recuperação da vegetação, controle da expansão urbana, gestão de resíduos e saneamento, mitigação de enchentes e fortalecimento da governança. O estudo destaca a relevância da integração entre ferramentas automatizadas e análise visual na avaliação das mudanças no uso do solo, subsidiando ações de planejamento territorial e conservação aplicáveis a outras regiões.

**Palavras-chaves:** Uso e cobertura do solo; Expansão urbana; Fragmentação da paisagem; Sustentabilidade; Governança ambiental

### SPATIAL DYNAMICS OF LAND USE IN THE BACANGA RIVER BASIN: CONTRASTS BETWEEN MAPBIOMAS AND VISUAL IDENTIFICATION (2013-2023)

**Abstract:** This study analyzes land use and land cover changes in the Bacanga River Watershed (BHRB), located in São Luís Island – Maranhão, between 2013 and 2023, using MapBiomias data and Visual Identification. The integration of these methodologies revealed unplanned urban expansion as the main environmental impact driver, leading to landscape homogenization, reduction of fragments, and an increase in urbanized areas, especially in the northern and northeastern regions. The dominant classes were Urbanized Area and Natural Vegetation, highlighting anthropogenic pressure on sensitive ecosystems such as mangroves and floodplains. Landscape metrics analysis indicated increased fragmentation and loss of ecological connectivity, exacerbating socio-environmental vulnerabilities, including floods, biodiversity loss, and the decline of essential

ecosystem services. Based on the findings, strategies are proposed in five key areas: vegetation restoration, urban expansion control, waste management and sanitation, flood mitigation, and governance strengthening. The study emphasizes the importance of integrating automated tools and visual interpretation to assess land use changes, supporting territorial planning and conservation efforts replicable in similar regions.

**Keywords:** Land use and land cover; Urban expansion; Landscape fragmentation; Sustainability; Environmental governance.

## **DINÂMICA ESPACIAL DEL USO DEL SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BACANGA: CONTRASTES ENTRE MAPBIOMAS Y LA IDENTIFICACIÓN VISUAL (2013-2023)**

**Resumen:** Este estudio analiza los cambios en el uso y la cobertura del suelo en la Cuenca Hidrográfica del Río Bacanga (CHRB), en la Isla de São Luís – Maranhão, entre 2013 y 2023, utilizando datos de MapBiomas y de Identificación Visual. La combinación de estas metodologías reveló la expansión urbana desordenada como el principal factor de impacto ambiental, promoviendo la homogeneización del paisaje, la reducción de fragmentos y la ampliación del área urbanizada, especialmente en el norte y noreste de la cuenca. Las clases dominantes fueron Área Urbanizada y Vegetación Natural, lo que evidencia la presión antrópica sobre ecosistemas sensibles, como los manglares y las zonas inundables. El análisis de las métricas del paisaje indicó una mayor fragmentación y pérdida de conectividad ecológica, intensificando vulnerabilidades socioambientales como inundaciones, reducción de la biodiversidad y compromiso de los servicios ecosistémicos. Con base en los hallazgos, se proponen estrategias en cinco ejes: recuperación de la vegetación, control de la expansión urbana, gestión de residuos y saneamiento, mitigación de inundaciones y fortalecimiento de la gobernanza. El estudio destaca la relevancia de la integración entre herramientas automatizadas y el análisis visual en la evaluación de los cambios en el uso del suelo, respaldando acciones de planificación territorial y conservación aplicables a otras regiones.

**Palabras-clave:** Uso y cobertura del suelo; Expansión urbana; Fragmentación del paisaje; Sostenibilidad; Gobernanza ambiental.

### **Introdução**

A dinâmica do uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga (BHRB), localizada na Ilha de São Luís (MA), reflete os desafios ambientais e socioambientais associados, principalmente, à urbanização desordenada, conforme apontado por Lopes (2016). Essa região abriga ecossistemas importantes, como manguezais, áreas alagáveis e remanescentes de vegetação nativa, que vêm sendo profundamente alterados através da redução de suas coberturas vegetais, nas últimas décadas. Essas mudanças impactam a estrutura ecológica local, especialmente a biodiversidade, a qualidade do habitat e a conectividade entre os fragmentos de vegetação. A perda de áreas naturais reduz a oferta de serviços ecossistêmicos, como regulação hídrica, controle da erosão e manutenção da qualidade da água, comprometendo tanto os sistemas ambientais quanto as comunidades dependentes dos recursos naturais.

A expansão urbana tem promovido a ocupação irregular de áreas de grande relevância ecológica, como planícies inundáveis e margens de corpos d'água, resultando em assentamentos precários habitados por populações vulneráveis. Estudos destacam que essas áreas apresentam extrema pobreza, ausência de serviços básicos e condições insalubres (Dos Santos, 1997; Soares et al., 2021). Além disso, a ocupação inadequada contribui para a degradação acelerada de manguezais e matas ciliares, com graves prejuízos ambientais.

Nos assentamentos urbanos próximos a rios e áreas baixas, o sistema de drenagem pluvial é frequentemente precário ou inexistente, agravado pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, que eleva a poluição dos corpos d'água, conforme observado por Lopes (2016). Essa situação representa riscos à saúde pública e compromete a biodiversidade local. Pesquisas em regiões semelhantes, como o estuário do Pina (PE) e Paranaguá, evidenciam que o crescimento urbano descontrolado degrada habitats críticos e prejudica serviços ecossistêmicos, como proteção contra erosão e manutenção da biodiversidade (Cavalcanti Silva et al., 2018; Da Silva et al., 2015).

Para compreender as transformações na BHRB entre 2013 e 2023, este estudo integrou dados automatizados do MapBiomas com interpretações visuais detalhadas de imagens de satélite de alta resolução. Também foi utilizada a metodologia proposta por Morgan et al. (2010) para contextualizar estados anteriores da paisagem. Essa abordagem híbrida permitiu superar limitações metodológicas e fornecer uma análise robusta das mudanças espaciais e seus impactos socioambientais.

As conectividades estrutural e funcional desempenham papel central na dinâmica da paisagem. A fragmentação causada pela urbanização reduz a conectividade estrutural, isolando habitats e dificultando processos ecológicos como dispersão de sementes e fluxo genético (Calabrese & Fagan, 2004; Grober Dunsmore et al., 2009). No caso da BHRB, a expansão urbana desordenada tem levado à fragmentação de habitats naturais, comprometendo a conectividade funcional e aumentando a vulnerabilidade dos ecossistemas. Laurance (1997) destaca que áreas fragmentadas tendem a perder biodiversidade rapidamente, especialmente quando isoladas por zonas urbanas ou infraestrutura antrópica.

Nesse sentido, as métricas de paisagem são amplamente utilizadas para quantificar e descrever padrões espaciais em paisagens heterogêneas. Segundo Metzger (2006), elas podem ser classificadas em duas categorias principais: os índices de composição, que são relacionados às características das unidades da paisagem, como riqueza, área ocupada e

dominância espacial dos fragmentos; e os índices de configuração, que se referem à disposição espacial dessas unidades, considerando aspectos como fragmentação, conectividade e forma dos fragmentos.

Horning et al. (2010) destacam que os pesquisadores geralmente utilizam entre quatro e cinco métricas para caracterizar a composição, o tamanho, a forma e os processos de configuração dos fragmentos. No entanto, não há um consenso sobre a melhor forma de agrupá-las. Em termos gerais, as métricas de composição quantificam variedade, frequência e área dos elementos da paisagem, enquanto as métricas de configuração analisam a forma e a disposição espacial dos fragmentos.

De acordo com Cardille e Turner (2017), essas métricas são essenciais para descrever paisagens de forma objetiva, convertendo percepções qualitativas como 'aglomeradas', 'dispersas' ou 'fragmentadas' em dados quantificáveis. Como a identificação de padrões espaciais é crucial para a ecologia da paisagem, é fundamental compreender as métricas mais utilizadas.

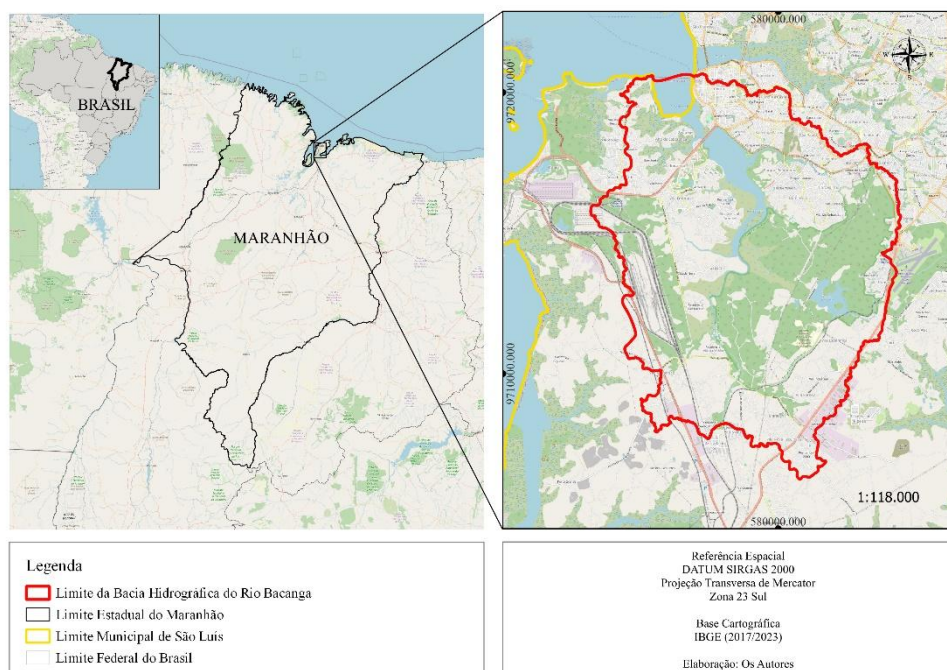
O estudo combinou sensoriamento remoto e informações de campo, utilizando ferramentas de SIG no QGIS para analisar algumas métricas de paisagem. Os resultados revelaram que a classe dominante na paisagem é a área urbanizada, seguida pela vegetação natural, evidenciando os impactos sobre ecossistemas locais, principalmente manguezais e áreas inundáveis. A integração dessas metodologias possibilita uma caracterização detalhada das mudanças no uso do solo, subsidiando intervenções ambientais mais eficazes, ações de conservação e planejamentos territoriais mais efetivos.

## **Material e Método**

### **Área de Estudo**

Segundo Santos (2017), a ilha de São Luís está localizada ao norte do estado do Maranhão, na Região Nordeste do Brasil, dentro do domínio geoambiental conhecido como Golfão Maranhense (Figura 1). A ilha possui uma área total de 1.455,1 km<sup>2</sup> e inclui os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.

**Figura 1** - Mapa de localização da Área de estudo, localizada na Ilha do Maranhão.



Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com o Censo do IBGE de 2022, o município de São Luís apresentava 1.037.775 habitantes, seguido de São José de Ribamar com 244.579 habitantes, Paço do Lumiar com 145.643 habitantes e Raposa com 30.839 habitantes (IBGE, 2022). A BHRB, objeto deste estudo, está localizada em São Luís, Maranhão, e representa a maior bacia hidrográfica da capital, cobrindo 12,33% do território municipal, com um perímetro de 44,2 km e um rio principal de 19 km (Soares, 2021).

Dentro de seu território, inclui duas Unidades de Conservação: o Parque Estadual do Bacanga (PEB), com 3.065 ha (Maranhão, 1980), e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Maracanã. O clima, segundo a classificação de Köppen, é quente e úmido (Aw), com uma estação chuvosa de janeiro a junho e uma seca de julho a dezembro (Machado, 2020).

### **Sensoriamento remoto e coleta de dados de campo**

Foram utilizados dados de uso e cobertura do solo (LULC) da Coleção 9 do MapBiomas, que mapeia anualmente a cobertura da terra no Brasil com resolução de 30m, por meio do algoritmo Random Forest aplicado a imagens Landsat no Google Earth Engine. O mapeamento foi realizado no QGIS 3.28.6 LTR, utilizando camadas raster dos anos de 2013 e 2023 na escala 1:100.000 e *shapefile* da área estudada. Posteriormente, os dados raster foram convertidos para vetorial, gerando polígonos representando 14 classes de uso e

cobertura da terra, a saber: Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável, Pastagem, Soja, Outras Lavouras Temporárias, Área urbanizada, Rios, Lagos e Oceano, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Outras Áreas não Vegetadas, Mineração, Apicum.

A validação dos dados remotos foi realizada em duas etapas, sendo a primeira a Aquisição de Imagens de Satélite, na qual foram adquiridas imagens Landsat (bandas 4, 5 e 6) do USGS Earth Explorer para os anos de 2013 e 2023, priorizando períodos secos (julho a dezembro) para melhor visibilidade. As imagens foram analisadas no QGIS e Google Earth Pro, permitindo a interpretação visual em escala 1:50.000, resultando na identificação de 11 classes de uso do solo.

A segunda etapa foi Georreferenciamento e Validação de campo, na qual as imagens foram georreferenciadas no sistema SIRGAS 2000 zona 23S, com ajustes polinomiais para minimizar distorções. O Google Earth Pro foi utilizado para inspeção visual e coleta de amostras de campo, refinando a classificação das categorias de uso do solo.

### **Análise das métricas de paisagem**

Neste estudo, as métricas calculadas foram baseadas na metodologia de Turner et al. (2017). Os cálculos foram realizados com fórmulas padronizadas para cada métrica, permitindo a comparação entre os anos de 2013 e 2023 (Quadro 1). O objetivo foi avaliar os impactos das mudanças no uso do solo na estrutura ecológica da bacia.

**Quadro 1:** Métricas de paisagem analisadas.

<b>Métrica</b>	<b>Fórmula</b>
Área da classe	$A_{class} = \sum_{(i=1)}^n A_i$
Área Total	$A_{total} = \sum_{(j=1)}^m A_{class}$
Proporção	$P_{class} = A_{class} / A_{total}$
Tamanho médio dos fragmentos	$TMF = A_{total} / N_{fragmentos}$
Índice de diversidade de Shannon	$H' = -\sum_{(i=1)}^m p_i \cdot \ln(p_i)$
Índice de uniformidade de Shannon	$E = H' / \ln(m)$
Métrica de fragmento	

Elaboração: Autoria própria (2025)

## Resultados e Discussão

A análise comparativa entre os dados do MapBiomas e da Identificação Visual revelou diferenças metodológicas e de interpretação na classificação do uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Bacanga. Enquanto o MapBiomas utiliza algoritmos automatizados para detectar padrões específicos nas imagens de satélite, a Identificação Visual baseia-se na percepção humana, permitindo uma análise mais detalhada de elementos sutis da paisagem.

As principais divergências foram observadas na delimitação de áreas urbanizadas, vegetação natural e agricultura. O MapBiomas, ao adotar uma escala padronizada, pode generalizar algumas classes, levando a possíveis subestimações ou superestimações de determinadas áreas. Já a Identificação Visual, apesar de oferecer maior precisão em detalhes locais, pode estar sujeita a vieses interpretativos e à variação da qualidade das imagens analisadas.

Essas diferenças metodológicas são consistentes com estudos anteriores, como o de Oliveira Junior et al. (2019), que identificaram apenas 15% de concordância entre MapBiomas e TerraClass na classificação de vegetação secundária no Pará. No presente estudo, essa discrepância reforça a importância de integrar múltiplas abordagens para uma caracterização mais precisa da paisagem.

Para facilitar a comparação entre os métodos utilizados, as classes de uso e cobertura do solo foram agrupadas conforme suas semelhanças, conforme apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2:** Agrupamento das classes de acordo com cada método utilizado.

<b>Classe</b>	<b>Agrupamento (Identificação Visual)</b>	<b>Agrupamento (MapBiomas)</b>
Vegetação Natural	Vegetação e Mangue	Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável
Agricultura	Agricultura	Pastagem, Soja, Outras Lavouras Temporárias
Áreas urbanizadas	Área Urbanizada e Indústrias	Área urbanizada
Corpos d'água	Água	Rios, Lagos, Oceano
Outros	Área Alagável, Formações Não Vegetadas ou Pouco Vegetadas, Área de Uso, Área	Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Outras

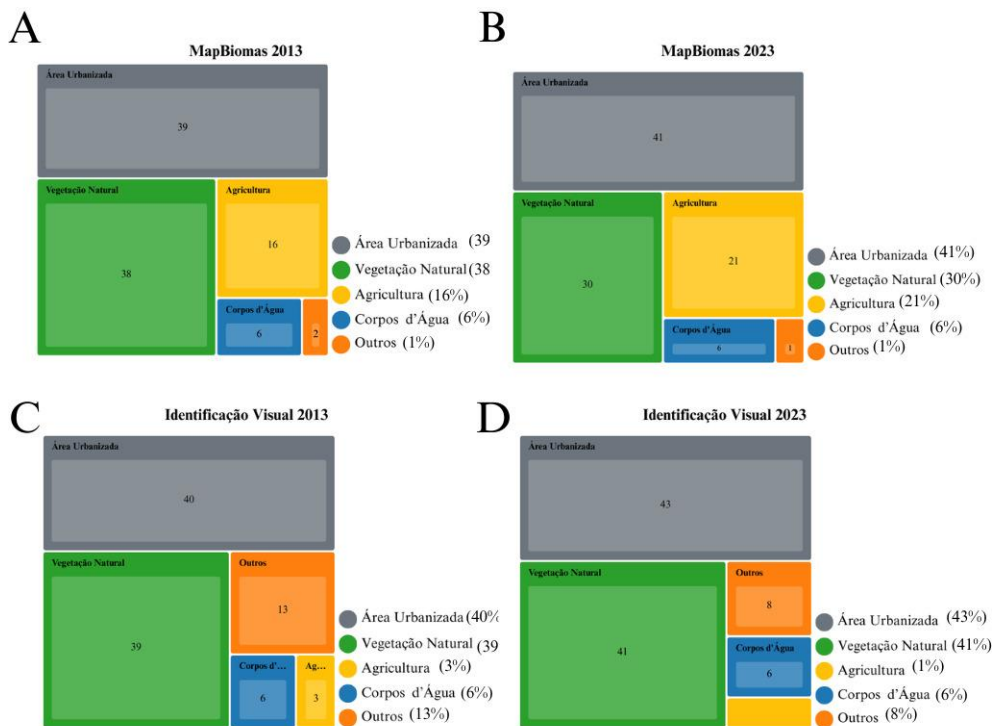
	Antrópica Não Especificada e, Solo Exposto	Áreas não Vegetadas, Mineração, e, Apicum
--	---	--

Fonte: Autoria própria (2025)

O Quadro 2 apresenta a organização das classes de uso e cobertura da terra em categorias mais amplas, de acordo com os métodos utilizados no estudo: Identificação Visual e MapBiomias. Esses agrupamentos foram realizados para facilitar a comparação entre os dois métodos e permitir uma análise mais consistente das mudanças na paisagem ao longo do tempo.

A Figura 2 apresenta a distribuição proporcional das classes de uso e cobertura do solo segundo ambos os métodos, evidenciando variações que podem ser explicadas tanto por limitações da resolução espacial quanto pela definição das classes adotadas. Já a Figura 3 ilustra a sobreposição dos mapas temáticos, destacando áreas de maior divergência e as tendências espaciais de transformação ao longo da década analisada (2013-2023).

**Figura 2** - Proporção por classe dos dados do MapBiomias e da Identificação Visual (2013/2023)

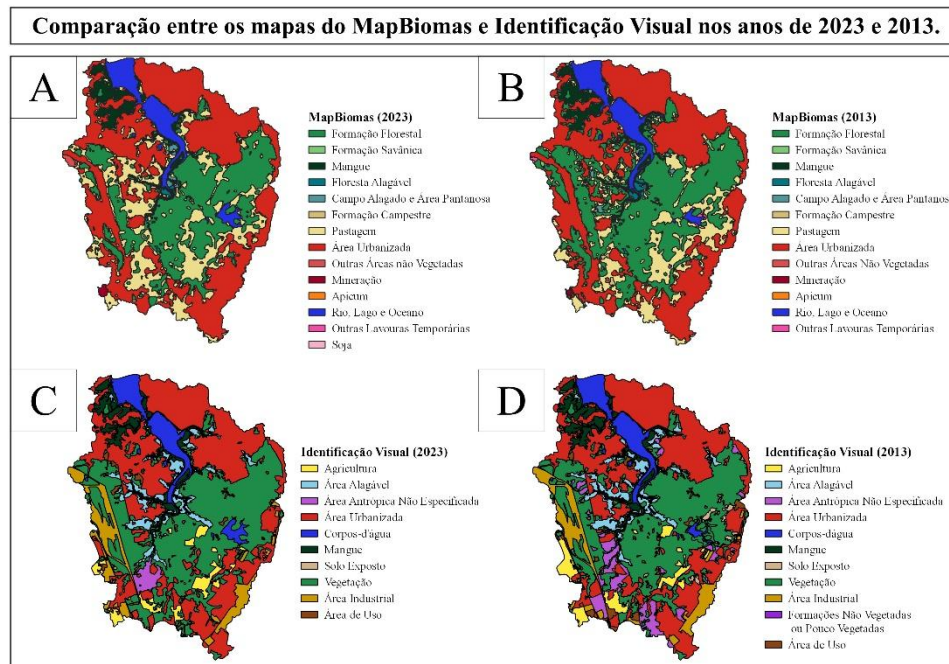


Fonte: Autoria própria (2025)

Os gráficos destacam as diferenças nas áreas ocupadas pelas classes de Vegetação Natural, Área Urbanizada, Agricultura, Corpos d'Água e Outros, evidenciando a dinâmica

temporal das mudanças no uso do solo ao longo da década analisada. Os gráficos A e B representam os dados do MapBiomas para os anos de 2013 (A) e 2023 (B), obtidos por meio de classificação automatizada baseada em imagens de satélite e os gráficos C e D representam os dados da Identificação Visual realizada para os anos de 2013 (C) e 2023 (D), obtidos por meio de interpretação visual direta de imagens de alta resolução.

**Figura 3 - Comparação das classes na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga.**



Fonte: Autoria própria (2025)

Os mapas temáticos apresentados na Figura 3 contrastam os resultados obtidos pelo MapBiomas (mapas A e B, referentes aos anos de 2013 e 2023, respectivamente) e pela Identificação Visual (mapas C e D, também correspondentes a 2013 e 2023). Esses mapas permitem visualizar espacialmente as mudanças ocorridas na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga ao longo do período estudado. A sobreposição das camadas vetoriais evidencia semelhanças e discrepâncias entre as duas abordagens, destacando áreas de maior transformação no uso e cobertura do solo. Nota-se que, apesar das diferenças metodológicas, a classe dominante na paisagem é a Área Urbanizada, seguida pela classe de Vegetação Natural

Como pode ser observado, a classe Área Urbanizada, segundo dados do MapBiomas, em 2013, somava 41,16 km<sup>2</sup>, representando 39,21% da área total da paisagem.

Em 2023, houve uma redução para 43,13 km<sup>2</sup>, ou 41,08% da área total. Já em relação à Identificação Visual, em 2013, as áreas urbanizadas ocupavam 41,52 km<sup>2</sup>, representando 39,54%. E em 2023, a área cresceu para 45 km<sup>2</sup>, ou, 42,86%.

A urbanização na área reflete a expansão dos bairros localizados dentro e ao redor da Bacia. Comparando com Castro (2008), que identificou 60 bairros na região, os dados atuais do Instituto das Cidades (INCID) indicam um aumento para 90 bairros, concentrados principalmente ao norte e nordeste da Bacia (Figura 4). Esse crescimento impacta diretamente fatores socioeconômicos e ambientais.

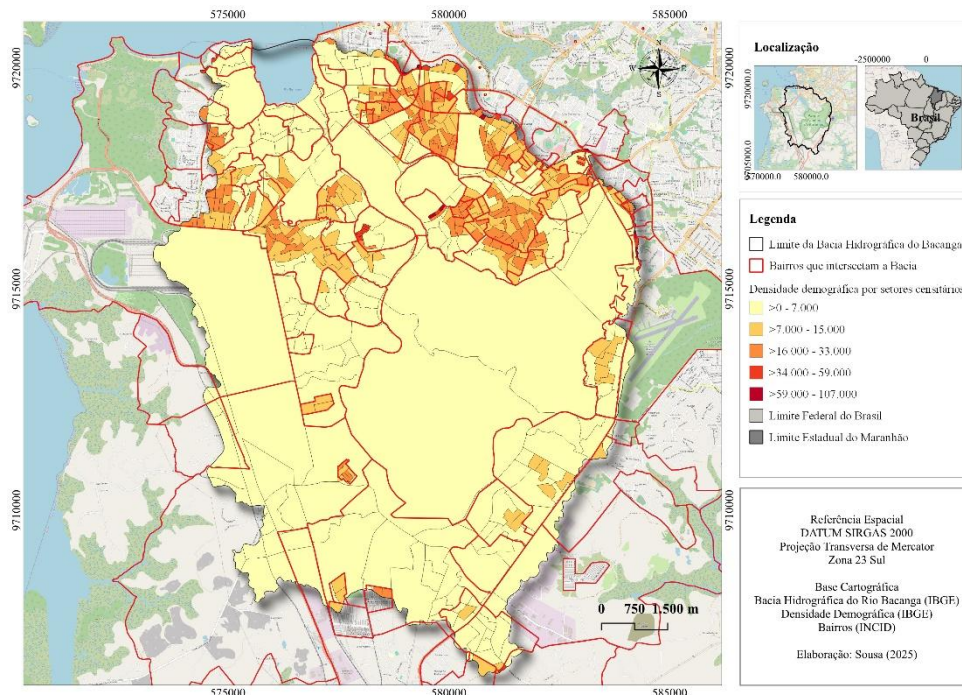
A Figura 4 apresenta a distribuição da densidade demográfica na Bacia do Bacanga, com base nos dados de setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). A representação espacial foi elaborada considerando os bairros que compõem a área da Bacia, destacando as variações na concentração populacional. As áreas em tons mais escuros indicam maior densidade demográfica, enquanto tons mais claros representam menor densidade.

Observou-se que ao norte, a densidade populacional é mais elevada em bairros como Vila Passos, Coreia, Lira, Goiabal, Monte Castelo, Retiro Natal, Bom Milagre, Bairro de Fátima, Areinha, João Paulo, Diamante, Jordoa, Coroado, Filipinho, Sacavém, Coheb do Sacavém, Salina do Sacavém, Coroadinho, Parque Timbiras, Parque dos Nobres, Vila dos Nobres, Conjunto Dom Sebastião, Primavera, Bom Jesus, Vila dos Frades, Vila Dom Sebastião e Vila Conceição. No noroeste da Bacia, os bairros mais populosos incluem Vila Ariri, Anjo da Guarda, Vila Embratel, Jambreiro e Sá Viana (IBGE, 2022). Esses bairros, muitos dos quais estão localizados em áreas de planície sujeitas a inundações, são particularmente vulneráveis aos impactos ambientais, socioambientais e econômicos gerados pela expansão urbana desordenada.

A urbanização acelerada tem gerado impactos ambientais significativos, como a redução de Áreas de Proteção Permanente (APPs) (Figura 4), uma vez que estudos (Da Silva et al., 2015; Leal et al., 2017; Cavalcante Silva et al., 2018; Souza et al., 2019) indicam que o crescimento desordenado resultou na destruição de manguezais, aumentando a vulnerabilidade do estuário a processos erosivos e eutrofização. Além disso, essas áreas enfrentam desafios relacionados a inundações, um problema crônico na Bacia do Bacanga. De acordo com Pereira (2019), aproximadamente 63% da Bacia apresenta relevo plano, com altitudes que favorecem a ocorrência de inundações. As características físicas da área, como a ausência de cobertura vegetal e a composição do solo, contribuem para um maior

escoamento superficial, agravando ainda mais o problema. A urbanização descontrolada nas planícies de inundação reduz a capacidade de drenagem natural, resultando em inundações mais frequentes e intensas.

**Figura 4-** Densidade demográfica na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga.



Fonte: IBGE (2022) e INCID (2021). Elaboração: Autoria própria (2025).

Esses fatores ambientais não apenas exacerbam as inundações, mas também têm consequências graves para as comunidades locais. Pereira (2019) aponta que cerca de 90% das famílias na área da Bacia são socialmente vulneráveis, com rendimentos baixos, o que agrava os impactos das inundações. Os bairros mais afetados, frequentemente classificados como assentamentos informais, sofrem com infraestrutura inadequada e alta exposição ao risco. Essa situação é particularmente crítica em regiões onde as condições precárias de moradia e saneamento aumentam ainda mais a vulnerabilidade das populações locais (figura 5), tornando urgente a implementação de medidas de mitigação e adaptação.

A Figura 5 apresenta uma imagem de satélite que ilustra a delimitação dos bairros localizados na porção noroeste da Bacia, com ênfase na expansão urbana sobre áreas de manguezal, que são ecossistemas sensíveis e desempenham papéis fundamentais na proteção costeira, ciclagem de nutrientes e manutenção da biodiversidade.

No decorrer da Identificação Visual foram observados vários pontos de descarte irregular espalhados na Bacia. A presença de pontos de descarte irregular e consequente contaminação do solo são fatores ambientais que devem ser levados em consideração.

**Figura 5** - Imagem de satélite dos bairros Vila Nova, Tamancão, Vila Mauro Fecury I, Vila Ariri, Anjo da Guarda - Vila São Raimundo, Alto da Esperança, Alto da Esperança – Residencial Ana Jansen, Vila Bacanga, Gancharia que adentram o manguezal (linha de cor vermelha) e da delimitação da Bacia (linha de cor amarela).



Fonte: IBGE (2022) e INCID (2021). Elaboração: Autoria própria (2025).

A segunda maior classe, a vegetação natural, apresentou redução ao longo dos anos. Em 2013, de acordo com o MapBiomas ocupava 39,38 km<sup>2</sup>, representando 37,52%. Em 2023, houve redução para 31,93 km<sup>2</sup>, ou 30,42%. Já de acordo com dados da Identificação Visual, em 2013, registrou-se 40,65 km<sup>2</sup>, com 38,71%. Já em 2023, a área diminuiu para 42,54 km<sup>2</sup>, ou 40,52. Isso demonstra a perda de espaço das áreas verdes para outras classes, principalmente a área urbana.

Além dos impactos ambientais, as mudanças no uso do solo têm consequências socioeconômicas significativas para as comunidades locais. A expansão urbana e a degradação dos manguezais têm impactos diretos sobre as comunidades tradicionais que dependem da pesca e da coleta de crustáceos para subsistência. Além disso, o aumento das enchentes e a poluição dos corpos d'água comprometem a qualidade de vida da população urbana, exigindo intervenções urgentes para mitigar esses efeitos.

A agricultura teve variações consideráveis entre os métodos. O MapBiomas apontou que em 2013, a agricultura ocupava 16,58 km<sup>2</sup>, representando 15,79%. Já em 2023, a área aumentou para 22,14 km<sup>2</sup>, 21,09%. Na Identificação Visual, em 2013, registrou-se apenas 3,48 km<sup>2</sup>, cerca de 3,32%. E em 2023, a área aumentou para 3,15 km<sup>2</sup>, ou 3,00%.

Essa diferença na agricultura pode ser pelo fato de que as diferenças entre os métodos decorrem da resolução espacial das imagens utilizadas. Como destacado por Rodrigues (2019), a conversão de polígonos para raster pode levar à perda de detalhes em áreas pequenas. Um dos principais desafios na classificação da agricultura está na heterogeneidade do uso do solo, já que a proximidade entre áreas de vegetação, corpos d'água e zonas urbanas dificulta a distinção precisa dos tipos de uso. Além disso, a aplicação de filtros espaciais e temporais, embora essencial para reduzir inconsistências, pode resultar na reclassificação de pequenas áreas heterogêneas dentro de uma classe predominante.

A classe de Corpos d'Água apresentou variações significativas entre 2013 e 2023, possivelmente influenciadas por eventos climáticos extremos, como o El Niño. Durante a fase quente de El Niño, ocorre uma redução nas chuvas na região Nordeste do Brasil, conforme observado em 2012, quando o nível de precipitação foi drasticamente reduzido (Fox-Kemper et al., 2021). Esse fenômeno pode ter contribuído para o contraste no volume de chuvas observado entre os anos analisados na região, embora mais estudos sejam necessários para confirmar essa hipótese. Além disso, as mudanças climáticas globais têm amplificado os impactos desse fenômeno, exacerbando eventos de seca e intensificando os desafios para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, incluindo a BHRB.

Sendo assim, de acordo com dados do MapBiomas, a classe de Corpos d'água, em 2013, cobria 6,05 km<sup>2</sup>, representando 5,76%. Em 2023, houve aumento para 6,23 km<sup>2</sup>, ou 5,93%. Paralelamente a isso, a Identificação Visual, em 2013, registrou 5,98 km<sup>2</sup>, com 5,69%. Em 2023, a classe permaneceu estável em 6,40 km<sup>2</sup>, ou 6,10%.

A categoria Outros, que inclui áreas não especificadas, apresentou pequenas variações. De acordo com o MapBiomas, em 2013, ocupava 1,81 km<sup>2</sup>, representando 1,74%. Em 2023, houve um pequeno aumento para 1,55 km<sup>2</sup>, ou 1,48%.

A análise da caracterização e quantificação espacial da paisagem, realizada a partir das métricas de paisagem, mostrou que a área total que compõe a Bacia do rio Bacanga é de 104,99 km<sup>2</sup>.

Com relação aos fragmentos, a análise das métricas identificou um total de 1.176 fragmentos presentes nos dados do MapBiomas de 2013 e 1.128 fragmentos em 2023. Uma

queda de 48 fragmentos em dez anos. O que a caracteriza uma paisagem muito fragmentada. Com relação à Identificação visual, foram registrados 379 fragmentos em 2013 e 297 em 2023. Uma redução de 82 fragmentos em dez anos. O que caracteriza uma paisagem bem menos fragmentada em relação ao MapBiomas.

O tamanho médio dos fragmentos da paisagem para o MapBiomas foi de 0,0893 km<sup>2</sup> em 2013 e de 0,0931 km<sup>2</sup> em 2023. Esses valores foram calculados com base na métrica de paisagem 'tamanho médio dos fragmentos', obtida a partir da divisão da área total ocupada por cada classe de uso do solo pelo número total de fragmentos identificados nos dados do MapBiomas (Figura 2). Para a Identificação Visual, os valores foram de 0,2776 km<sup>2</sup> em 2013 e 0,3536 km<sup>2</sup> em 2023, seguindo a mesma metodologia de cálculo aplicada às classes identificadas visualmente. Esses resultados sugerem uma consolidação ou fusão de fragmentos menores em fragmentos maiores ao longo do período analisado.

Segundo Calegari et al. (2010), o tamanho médio dos fragmentos é um importante indicador do grau de fragmentação da paisagem. Paisagens com fragmentos menores tendem a ser mais fragmentadas, o que geralmente significa que elas têm uma capacidade reduzida de sustentar uma rica diversidade biológica. Laurance (1997) classificou o tamanho dos fragmentos de acordo com seu valor para a conservação da biodiversidade, de modo que fragmentos de alto valor apresentam medidas maiores que 300 ha, fragmentos com valor mediano apresentam entre 3 e 300 ha e fragmentos de baixo valor apresentam medidas menores que 3 ha. Fazendo a conversão de hectares para quilômetros quadrados (1 ha = 0.01 km<sup>2</sup>) percebe-se que ambos os conjuntos de dados (MapBiomas e Identificação Visual) indicam que os fragmentos possuem valor mediano de conservação em 2013 e 2023.

O índice de diversidade de Shannon da paisagem foi estimado com base nos dados fornecidos pelo MapBiomas e pela Identificação Visual, utilizando fórmulas padronizadas descritas na metodologia (Figura 2). Os valores obtidos foram calculados diretamente a partir das proporções de área ocupada por cada classe agrupada, conforme descrito por McGarigal e Marks (1995), que estabeleceram as bases teóricas para o uso desse índice em análises de paisagem.

De acordo com os dados do MapBiomas, o índice de Shannon foi de 1,261 para o ano de 2013 e de 1,286 para 2023. Esses valores indicam baixa diversidade de usos na área da Bacia nos dois períodos analisados. O pequeno aumento observado ao longo do período reflete uma leve redistribuição mais uniforme das áreas entre as classes agrupadas. Esse comportamento pode estar relacionado ao aumento da área de agricultura (de 15,79% para

21,09%) e à redução da área de vegetação natural (de 37,52% para 30,42%), sugerindo uma maior homogeneização no uso do solo.

Por outro lado, os dados da Identificação Visual apresentaram um índice de Shannon de 1,273 para 2013 e de 1,200 para 2023. Esses valores também indicam baixa diversidade, mas, diferentemente do MapBiomias, houve uma redução no índice ao longo do período. Essa diminuição sugere que a distribuição das classes agrupadas ficou mais concentrada em algumas classes, principalmente a área urbanizada, que aumentou de 39,54% para 42,86%.

Esses cálculos foram realizados com base nas proporções de área fornecidas pelas duas metodologias (MapBiomias e Identificação Visual), conforme apresentado no Figura 2. A interpretação dos resultados destaca que valores mais baixos do índice de Shannon indicam menor diversidade e maior concentração em poucas classes de uso do solo.

O índice de uniformidade estimado para o MapBiomias em 2013 foi de 0,784 e, para 2023, aumentou para 0,799. Esses valores foram calculados com base na fórmula padrão do Índice de Uniformidade de Shannon, no qual ele é igual a 1 quando a distribuição de área entre manchas é exatamente a mesma, e tende a 0 quando a distribuição de espaço entre as manchas torna-se cada vez mais dominado por uma classe de mancha (Holanda et al. 2010). O aumento no índice sugere que as classes agrupadas estão mais equilibradas em termos de proporção, indicando que o uso e cobertura do solo estão sendo redistribuídos de maneira mais uniforme, com menos domínio de uma única categoria.

Por outro lado, a Identificação Visual apresentou um índice de uniformidade de 0,791 em 2013, que diminuiu para 0,745 em 2023. Essa redução reflete um cenário de maior concentração em determinadas classes, especialmente a área urbanizada, que se tornou mais dominante ao longo do período. Os valores também foram calculados utilizando a mesma metodologia.

Esses resultados são consistentes com os padrões observados nos mapas temáticos (Figura 3) e nas análises quantitativas de uso do solo (Figura 2), que mostram uma tendência de consolidação ou fusão de fragmentos menores em áreas maiores, principalmente em regiões sujeitas à expansão urbana. A literatura sobre ecologia da paisagem, como destacado por Cardille e Turner (2017), valida essa interpretação, pois índices de uniformidade próximos a 1 indicam uma distribuição mais equilibrada entre as classes, enquanto valores mais baixos sugerem maior desigualdade na ocupação do solo.

Nesse contexto, as métricas calculadas para a BHRB também demonstram coerência com estudos prévios, como o de Andrade et al. (2020). Esses autores encontraram um índice de diversidade de Shannon de 1,19, indicando baixa diversidade de usos na paisagem. De forma semelhante, os índices calculados para a BHRB variaram entre 1,200 e 1,286, dependendo do método utilizado. Essa proximidade nos valores reforça a ideia de que ambas as bacias apresentam padrões de uso do solo marcados pela predominância de poucas classes.

Com base nessas análises, foram propostas estratégias específicas para a recuperação das áreas degradadas na Bacia do Bacanga, organizadas em cinco eixos principais: recuperação da vegetação e redução da fragmentação; controle da expansão urbana e regularização fundiária; gestão de resíduos sólidos e saneamento básico; mitigação de enchentes e assoreamento; e fortalecimento da governança e políticas públicas.

No primeiro eixo, foi observado que a fragmentação da paisagem é um dos principais impactos identificados na BHRB, com redução significativa no número de fragmentos florestais entre 2013 e 2023, conforme analisado por meio das métricas de paisagem. Para mitigar esse processo e promover a conectividade ecológica, são propostas a criação de Corredores Ecológicos, com a identificação das áreas prioritárias para conectar fragmentos florestais isolados, especialmente no Parque Estadual do Bacanga e na Área de Proteção Ambiental (APA) do Maracanã. Esses corredores podem ser planejados e implementados por meio de parcerias com universidades públicas, privadas e/ou ONGs ambientais, garantindo a participação ativa da sociedade civil.

Além disso, realizar o reflorestamento com espécies nativas, com a promoção de programas de reflorestamento utilizando espécies adaptadas ao ecossistema local. Esses programas podem envolver a comunidade local por meio de mutirões e capacitações, incentivando práticas sustentáveis e gerando empregos verdes, como o Projeto Olhos D'Água da Amazônia.

Outra proposta do primeiro eixo é a Regeneração Natural Assistida, com o monitoramento de áreas degradadas e remoção de espécies invasoras que prejudicam a regeneração natural. Essa ação pode ser realizada por equipes técnicas contratadas pelo governo ou organizações parceiras, com foco em áreas críticas, como margens de rios e manguezais. E ainda, deve ser feito o monitoramento contínuo, utilizando ferramentas de sensoriamento remoto e indicadores ambientais para acompanhar o progresso das

intervenções. Esse monitoramento permitirá ajustes nas estratégias e garantirá a efetividade das ações implementadas.

O segundo eixo foca no controle da expansão urbana desordenada e na regularização fundiária sustentável. Essas ações visam minimizar os impactos da urbanização sobre APPs e reduzir os conflitos socioambientais decorrentes da ocupação irregular. Para isso, são sugeridas três principais linhas de ação, sendo a Delimitação de Zonas de Proteção e Recuperação Ambiental, identificando e demarcando áreas críticas, onde a ocupação humana deve ser proibida ou rigidamente controlada. Essa medida busca proteger ecossistemas sensíveis e evitar novas pressões antrópicas.

Promover Programas de Regularização Fundiária Sustentável, buscando legalizar moradias em áreas já ocupadas, mas com a implementação de condições que mitiguem os impactos ambientais, como o plantio de árvores nativas e a construção de sistemas de drenagem adequados.

Nesse sentido, o órgão ambiental responsável por promover essas duas primeiras linhas de ação, seria principalmente a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMAM), liderando ações locais de delimitação de APPs urbanas e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA-MA), fornecendo suporte técnico e legal para áreas mais amplas. Além disso, a participação do Ministério Público (MP-MA) e do Comitê Gestor da Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga seria essencial para garantir a transparência, a sustentabilidade e a eficácia das intervenções.

A terceira linha de ação é incentivar a Educação Ambiental, promovendo campanhas educativas voltadas à conscientização da população sobre os impactos da urbanização desordenada e incentivar práticas sustentáveis, como o manejo adequado de resíduos e a conservação de recursos naturais. Assim, a implementação dessas campanhas de Educação Ambiental pode ser conduzida por diferentes atores, mas a parceria entre governo (SEMA-MA ou SEMMA), universidades e empresas privadas é uma estratégia promissora. Um termo de cooperação técnica entre o governo e universidades pode formalizar a colaboração, enquanto empresas podem apoiar financeiramente as atividades.

Essas iniciativas devem ser priorizadas em bairros como Vila Ariri, Anjo da Guarda, Coroadinho e Sacavém, além de outras áreas de preservação permanente e margens de corpos d'água, onde os impactos da urbanização têm sido mais intensos, devido à combinação de vulnerabilidade ambiental, alta densidade populacional, degradação de APPs

e condições socioeconômicas precárias. A articulação entre poder público, comunidades locais e organizações parceiras será essencial para o sucesso dessas intervenções.

No eixo da gestão de resíduos sólidos e saneamento básico, o objetivo é reduzir a poluição do solo e da água causada pelo descarte irregular de resíduos e esgoto. Para isso, sugere-se o aumento no número de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) na região; a implementação de coleta seletiva e fortalecimento de cooperativas de catadores, com foco na inclusão social e econômica de catadores de materiais recicláveis. Para isso, é necessário oferecer subsídios, capacitação técnica e equipamentos adequados às cooperativas, garantindo sua sustentabilidade financeira e operacional.

E a adoção de soluções descentralizadas de saneamento, como fossas sépticas e biofiltros, em áreas sem infraestrutura adequada de saneamento, como ocupações informais próximas ao Rio Bacanga. As ações devem se concentrar principalmente nas regiões próximas ao Rio Bacanga e em áreas de ocupação informal sem infraestrutura adequada.

O quarto eixo trata da mitigação de enchentes e do assoreamento, com o objetivo de reduzir o impacto das cheias e evitar o assoreamento dos corpos d'água. As principais ações incluem o desassoreamento do Rio Bacanga e de seus afluentes, a criação de áreas de retenção de água, como jardins de chuva e bacias de infiltração, além da recuperação das matas ciliares. Essas estratégias devem ser priorizadas nos trechos do Rio Bacanga mais afetados pelo assoreamento e em áreas urbanas sujeitas a alagamentos e enchentes.

Por fim, o fortalecimento da governança e das políticas públicas se faz essencial para a gestão eficiente e a articulação entre diferentes atores. A BHRB já conta com um Comitê Gestor, que desempenha um papel fundamental na coordenação das ações de gestão ambiental e no monitoramento das intervenções realizadas. Nesse sentido, este estudo propõe a incorporação de tecnologias modernas de monitoramento, como sensoriamento remoto e indicadores ambientais, para avaliar o impacto das intervenções realizadas na Bacia; maior transparência nos processos decisórios do comitê, divulgando relatórios anuais sobre os resultados alcançados e os recursos utilizados e; a promoção da participação ativa da população local por meio de consultas públicas e canais de comunicação direta com o comitê.

A implementação dessas estratégias contribuirá para reduzir os impactos da degradação ambiental, melhorar a qualidade de vida da população e garantir a sustentabilidade da Bacia mais a longo prazo. Além disso, a integração dessas ações com dados espaciais e análises do uso do solo permitirá direcionar esforços para as áreas mais vulneráveis, otimizando os resultados das intervenções ambientais.

## Conclusões

A análise comparativa entre os dados do MapBiomas e da Identificação Visual revelou diferenças significativas no uso e cobertura do solo na BHRB. Ambos os métodos indicaram uma tendência de homogeneização da paisagem, com redução de fragmentos e aumento da área urbanizada, impactando áreas naturais como vegetação nativa e manguezais, especialmente em zonas de transição e margens de corpos d'água. As divergências nas classificações refletem as limitações de cada método: o MapBiomas oferece uma visão ampla, mas menos detalhada, enquanto a Identificação Visual fornece maior precisão, porém sujeita a erros interpretativos. A combinação das duas abordagens mostrou-se eficaz para superar essas limitações, possibilitando intervenções ambientais mais adequadas.

Os resultados destacam que a área urbanizada é a classe dominante na paisagem, seguida pela vegetação natural, com crescimento urbano concentrado ao norte e nordeste da bacia, impactando fatores econômicos, sociais e ambientais, especialmente em áreas propensas a inundações. Com base nos achados, foram propostas estratégias organizadas em cinco eixos principais: recuperação da vegetação e redução da fragmentação; controle da expansão urbana e regularização fundiária; gestão de resíduos sólidos e saneamento básico; mitigação de enchentes e assoreamento; e fortalecimento da governança e políticas públicas.

O estudo reforça a importância de integrar ferramentas automatizadas e interpretações visuais para monitorar mudanças no uso do solo, utilizando métricas de paisagem que quantificam padrões espaciais. Para avançar, recomenda-se o uso de dados de alta resolução e a avaliação da eficácia das estratégias por meio de indicadores socioambientais. O monitoramento contínuo, aliado à participação da comunidade local e ao uso de tecnologias modernas, será essencial para enfrentar os desafios ambientais e promover a conservação da BHRB para as futuras gerações.

## Referências

ANDRADE, Á. S.; RIBEIRO, S. C. A.; PEREIRA, B. W. F.; BRANDÃO, V. P. Fragmentação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 406–420, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509835074>.

CALABRESE, Justin M.; FAGAN, William F. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 10, p. 529–536, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0529:ACGTTCM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0529:ACGTTCM]2.0.CO;2).

CALEGARI, L. et al. Indicadores de fragmentação da paisagem e sua relação com biodiversidade em florestas tropicais. **Revista Brasileira de Biocontas**, v. 20, n. 4, p. 451–466, 2010.

CARDILLE, J. A.; TURNER, M. G. Understanding Landscape Metrics. In: GERGEL, S. E.; TURNER, M. G. (org.). **Learning Landscape Ecology**. Springer, 2017. p. 28–40. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6374-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6374-4_2). CAVALCANTI SILVA, E. R. A.; ASSIS, D. R. S. de; FREIRE SILVA, J; MELO, J. G. S; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal das características do mangue urbano no estuário do Pina (Pernambuco). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2018. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/7>. Acesso em: 12 jan. 2025.

DA SILVA, T.; TONETTI, M.; KRELLING, A. Especiais de adensamento: um estudo sobre a expansão urbana sobre os manguezais no município de Paranaguá. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 14, p. 92–111, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17271/231884723142015939>.

DOS SANTOS, L. E. N. **Caracterização sócio-ambiental de São Luís-MA**. São Luís: Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural, 1997.

GROBER-DUNSMORE, R. et al. A landscape ecology approach for the study of ecological connectivity across tropical marine seascapes. In: NAGELKERKEN, I. (ed.). **Ecological connectivity among tropical coastal ecosystems**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 493–530. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2406-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2406-0_14).

HOLANDA, A. C. et al. Estrutura de espécies arbóreas sob efeito de borda em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Pernambuco. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 103–114, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000100012>.

HORNING, N. et al. **Remote sensing for ecology and conservation: A handbook of techniques**. Oxford: Oxford University Press, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199219940.001.0001>.

LAURANCE, W. Hyper-disturbed parks: edge effects and the ecology of isolated rainforest reserves in tropical Australia. In: LAURANCE, W.; BIERREGAARD, R. O. (ed.). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997. p. 33–44

LEAL, E. B. et al. Análise do processo de ocupação em área de mangue no bairro de São Miguel, no município de Maracanã/PA. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1872>.

LOPES, J. Requalificação urbana e ambiental pela gestão e planejamento de bacia hidrográfica: o Programa Bacia do Bacanga. In: CASTRO, C. E.; MASULLO, Y. A. G. (org.). **Gestão ambiental, uma diversificada ferramenta na consolidação de paradigma ecológico inovador**. São Luís: EDUEMA, 2016. p. 299. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327245911>. Acesso em: 23 Ago. 2024.

MACHADO, A. Comparação de imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no mapeamento de uso e cobertura da terra na Ilha do Maranhão. **Revista Equador**, v. 9, p. 209–232, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26694/Equador.V9i3.10451>.

MARANHÃO. **Decreto n. 7.545, de 07 de março de 1980**. Cria o Parque Estadual do Bacanga e dá outras providências. Disponível em: [http://documentacao.socioambiental.org/ato\\_normativo/UC/300\\_20100223\\_142844.pdf](http://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/300_20100223_142844.pdf). Acesso em: 14 abr. 2024.

MAPBIOMAS. **MapBiomass General Handbook: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. Collection 9, versão 1. agosto de 2024. DOI: <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/ICCL5B>.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure**. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>.

MORGAN, J. L. et al. Historical aerial photography for landscape analysis. In: GERGEL, S. E.; TURNER, M. G. (ed.). **Learning Landscape Ecology**. Cham: Springer, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6374-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6374-4_2).

OLIVEIRA JUNIOR, L. A. L. et al. ANÁLISE COMPARATIVA DO MAPEAMENTO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA DOS PROJETOS TERRACLASS E MAPBIOMAS. In: **ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2019, Santos. Anais eletrônicos..., INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/sbsr-2019/trabalhos/analise-comparativa-do-mapeamento-de-vegetacao-secundaria-dos-projetos-terraclas?lang=en>. Acesso em: 05 fev. 2025.

PEREIRA, C. R. P. Índice de vulnerabilidade social a inundação como ferramenta de planejamento urbano. In: **SIMPURB – Simpósio Nacional de Desenvolvimento Urbano e Planejamento Territorial**, 16., 2019, Vitória. *Anais [...]*. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2019. v. 1. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/simpurb2019/article/view/26769>. Acesso em: 09 Mai. 2025.

RODRIGUES, L. A. L. **Licenciamento ambiental em números: uma comparação entre as UHEs Santo Antônio, Jirau e Belo Monte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SOARES, L. S.; CASTRO, A. C. L. de; SILVA, M. H. L.; SILVA, E. V. da. Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas: estudo de caso das sub-bacias do Batatã e Maracanã, São Luís/MA. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, Macapá, n. 11, p. 93–105, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18468/planetaamazonia.2019n11.p93-105>.

SOARES, L. S. et al. ANÁLISE INTEGRADA E PROBLEMAS SOCIOAMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BACANGA, SÃO LUÍS - MA. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 1, n. 15, p. 138-150, ago. 2021. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/674>. Acesso em: 08 Mai. 2025.

SOUZA, A. P. S.; SOUZA, I. S.; OLAVO, G.; LOBÃO, J. S. B.; SÃO JOSÉ, R. V. Mapeamento e identificação de vetores responsáveis pela supressão do manguezal na zona costeira do baixo sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 7, p. 2503–2521, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2503-2521>.

FOX-KEMPER, B. et al. Ocean, cryosphere and sea level change. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (ed.). **Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 1211–1362. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.011>.