RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL EM BACIA URBANA DE BELÉM-PA: UMA ANÁLISE DA BACIA DO MURUCUTUM

SPATIAL CHARACTERIZATION OF VEGETATION COVER IN AN URBAN BASIN OF BELÉM-PA: AN ANALYSIS OF THE MURUCUTUM BASIN

Manoel Vidal Pantoja Junior, Marcelo José Raiol Souza, Jorge Fernando Hungria Ferreira, Alberto Carlos de Melo Lima e Marco Valério de Albuquerque Vinagre

RESUMO
A análise espacial da cobertura vegetal em áreas urbanas amazônicas é fundamental para compreender a dinâmica do uso do solo e suas implicações ambientais. Este trabalho teve como objetivo analisar a distribuição espacial e a variação temporal da cobertura vegetal na bacia do Murucutum, em Belém, Pará, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da classificação do uso e ocupação do solo. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2 referentes aos anos de 2022, 2023 e 2024, processadas em ambiente de geoprocessamento para o cálculo do NDVI e a categorização do vigor vegetal em cinco classes temáticas. Complementarmente, dados do projeto MapBiomas foram empregados para mapear e quantificar as classes de uso e ocupação do solo, permitindo a comparação espacial e temporal entre os diferentes anos analisados. Os resultados evidenciaram predominância de áreas com vegetação de vigor médio, além de variações interanuais nas classes de vegetação de maior densidade e nas áreas não vegetadas, indicando elevada heterogeneidade espacial da cobertura vegetal em contexto urbano. Conclui-se que a integração entre índices espectrais e dados de uso do solo é eficiente para caracterizar padrões espaciais da vegetação urbana, contribuindo para análises ambientais e estudos territoriais em áreas urbanizadas da Amazônia.
Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Geoprocessamento. Planejamento Territorial.

ABSTRACT
The spatial analysis of vegetation cover in Amazonian urban areas is essential for understanding land use dynamics and their environmental implications. This study aimed to analyze the spatial distribution and temporal variation of vegetation cover in the Murucutum basin, located in Belém, Pará, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and land use and land cover classification. Sentinel-2 satellite images from the years 2022, 2023, and 2024 were processed in a geospatial environment to calculate NDVI and classify vegetation vigor into five thematic classes. Additionally, data from the MapBiomas project were used to map and quantify land use and land cover classes, enabling spatial and temporal comparisons among the analyzed years. The results showed the predominance of areas with medium vegetation vigor, as well as interannual variations in higher-density vegetation classes and non-vegetated areas, indicating high spatial heterogeneity of vegetation cover in an urban context. It is concluded that the integration of spectral indices and land use data is effective in characterizing spatial patterns of urban vegetation, contributing to environmental analyses and territorial studies in urbanized areas of the Amazon.
Keywords: Remote Sensing. Geoprocessing. Territorial Planning.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização tem promovido alterações significativas na organização espacial e funcional dos sistemas ambientais urbanos, especialmente no que se refere à cobertura vegetal. A conversão de áreas naturais em superfícies construídas modifica profundamente a estrutura da paisagem, resultando em fragmentação da vegetação, redução da conectividade ecológica e comprometimento dos serviços ecossistêmicos associados aos ambientes urbanos, onde esses efeitos tornam-se particularmente expressivos em bacias hidrográficas urbanas, já que a dinâmica ambiental reflete de forma integrada os padrões de uso e ocupação do solo (Setó; Güneralp; Hutyra, 2012; Wu, 2014).

A cobertura vegetal urbana desempenha papel fundamental na regulação ambiental, atuando na modulação microclimática, na estabilidade do solo, na conservação da biodiversidade e na manutenção do equilíbrio ecológico da paisagem urbana (Wu, 2014). Em bacias urbanas, sua distribuição espacial constitui um indicador sensível do grau de antropização e da intensidade da pressão urbana, permitindo identificar áreas mais

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

preservadas, zonas de transição e setores fortemente urbanizados (Li *et al*., 2017).

Em regiões tropicais, como a Amazônia brasileira, esses processos assumem características particulares em função da elevada produtividade biológica, da alta pluviosidade e da presença de remanescentes florestais inseridos no tecido urbano (Gardiner, 2024). Sendo que a rápida expansão urbana em cidades tropicais tem provocado padrões heterogêneos de cobertura vegetal, frequentemente marcados pela coexistência de fragmentos florestais relevantes e extensas áreas densamente urbanizadas (Peng *et al*., 2016; Carvalho, Rocha, 2020). Nesse contexto, a análise da cobertura vegetal em escala de bacia urbana torna-se essencial para compreender a organização ambiental do espaço urbano e suas transformações recentes, onde o sensoriamento remoto tem se consolidado como uma ferramenta indispensável para a análise da cobertura vegetal em ambientes urbanos, especialmente em áreas extensas e complexas, onde levantamentos de campo são limitados (Miguez *et al*., 2014). O uso de imagens orbitais possibilita o monitoramento sistemático da vegetação, permitindo análises espaciais e temporais consistentes do processo de urbanização e de seus efeitos sobre a paisagem (Weng, 2012).

Entre os diversos índices espectrais disponíveis, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) destaca-se por sua ampla aplicação na identificação e quantificação da vegetação, sendo amplamente empregado em estudos urbanos e ambientais. O NDVI permite discriminar áreas vegetadas, superfícies impermeáveis e corpos hídricos, além de indicar variações na densidade e no vigor da vegetação, constituindo um indicador robusto para análises espaciais em bacias urbanas (Peng *et al*., 2016; Li *et al.,* 2017). A integração do NDVI com dados de uso e ocupação do solo em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilita compreender os padrões espaciais da vegetação urbana e sua relação com a expansão das áreas construídas (Zhou *et al*., 2014; (Wu, 2014; Carvalho, Rocha, 2020).

Além de sua relevância ecológica intrínseca, a cobertura vegetal em áreas urbanas está diretamente associada à provisão de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação térmica, o sequestro de carbono, a infiltração hídrica e a melhoria da qualidade do ar, contribuindo para a resiliência ambiental das cidades frente às pressões antrópicas e às mudanças climáticas (Gómez-Baggethun; Barton, 2013; Jato-Espino *et al*., 2023). Em bacias hidrográficas urbanas, a supressão ou fragmentação da vegetação compromete esses serviços de forma integrada, afetando simultaneamente a estabilidade ambiental e o bem-estar da população, especialmente em contextos tropicais, onde os processos ecológicos são mais dinâmicos e sensíveis às transformações do uso do solo (Wu, 2014; Gardiner, 2024).

Nesse sentido, a análise espacial da cobertura vegetal urbana também dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, em especial o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 15 (Vida Terrestre), ao fornecer subsídios técnicos para o diagnóstico ambiental de territórios urbanizados e para o monitoramento de padrões de uso do solo compatíveis com a sustentabilidade urbana (United Nations, 2015). Sendo que a incorporação de indicadores espaciais baseados em sensoriamento remoto, como o NDVI, tem se mostrado fundamental para avaliar o desempenho ambiental das cidades e apoiar processos de planejamento urbano mais integrados e baseados em evidências, especialmente em regiões em desenvolvimento e em cidades amazônicas, onde os conflitos entre urbanização e conservação ambiental são particularmente intensos (Li *et al*., 2019; Yu *et al*., 2021).

A bacia hidrográfica do Murutucum, situada no município de Belém-PA, configura-se como uma bacia urbana marcada por uso e ocupação do solo heterogêneos, resultantes de um processo de urbanização intenso e historicamente desordenado. Estudos recentes baseados em geotecnologias indicam a coexistência de áreas densamente urbanizadas com remanescentes de cobertura vegetal, cuja distribuição espacial reflete tanto a pressão

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

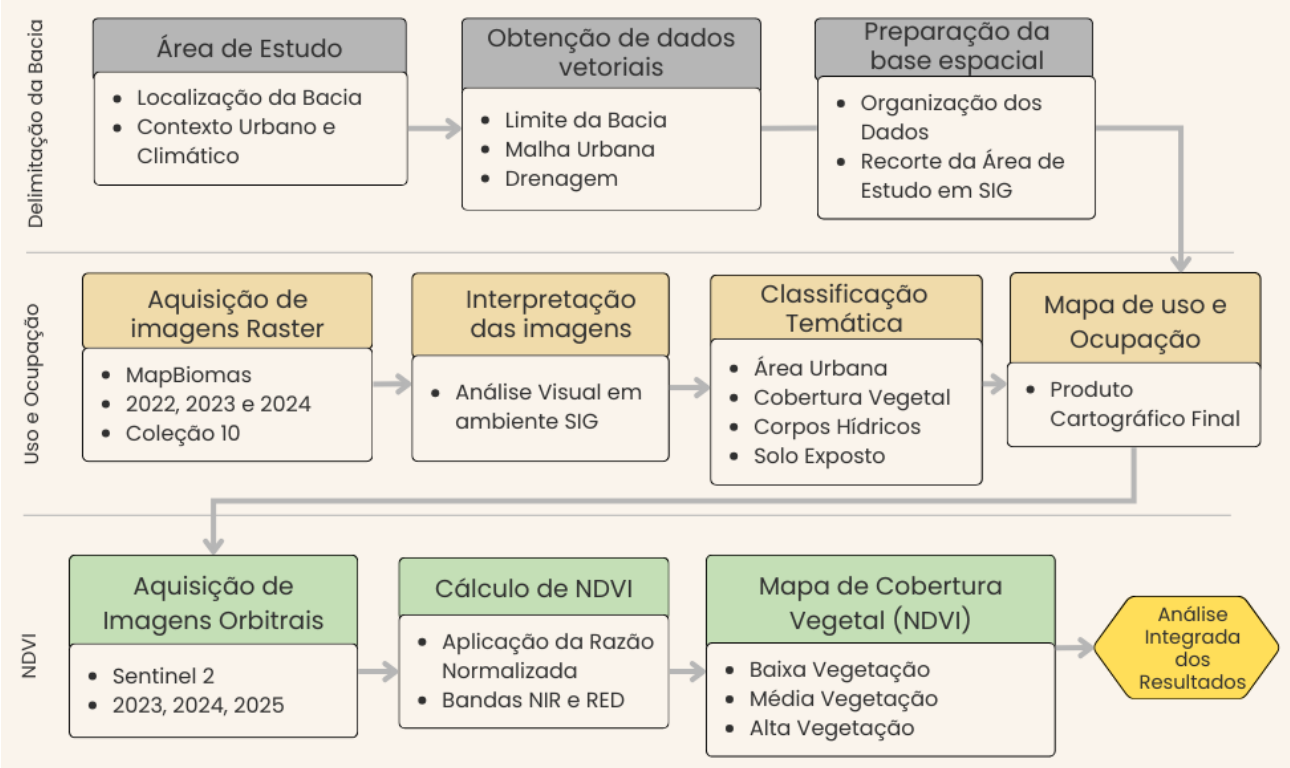
antrópica quanto a presença de áreas ambientalmente protegidas (Cunha *et al*., 2024).

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo caracterizar espacialmente a cobertura vegetal da bacia urbana do Murucutum, em Belém-PA, por meio da aplicação do NDVI e de técnicas de análise espacial, contribuindo para o entendimento da distribuição da vegetação em bacias urbanas amazônicas, sem abordar modelagens hidrológicas ou proposições interventivas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo baseia-se na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a caracterização espacial da cobertura vegetal da bacia hidrográfica urbana do Murucutum, no município de Belém-PA, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Uso e Ocupação do Solo. O Fluxograma 1 abaixo apresenta o fluxograma das etapas metodológicas adotadas no desenvolvimento do estudo.

Fluxograma 1 – Etapas Metodológicas do Estudo

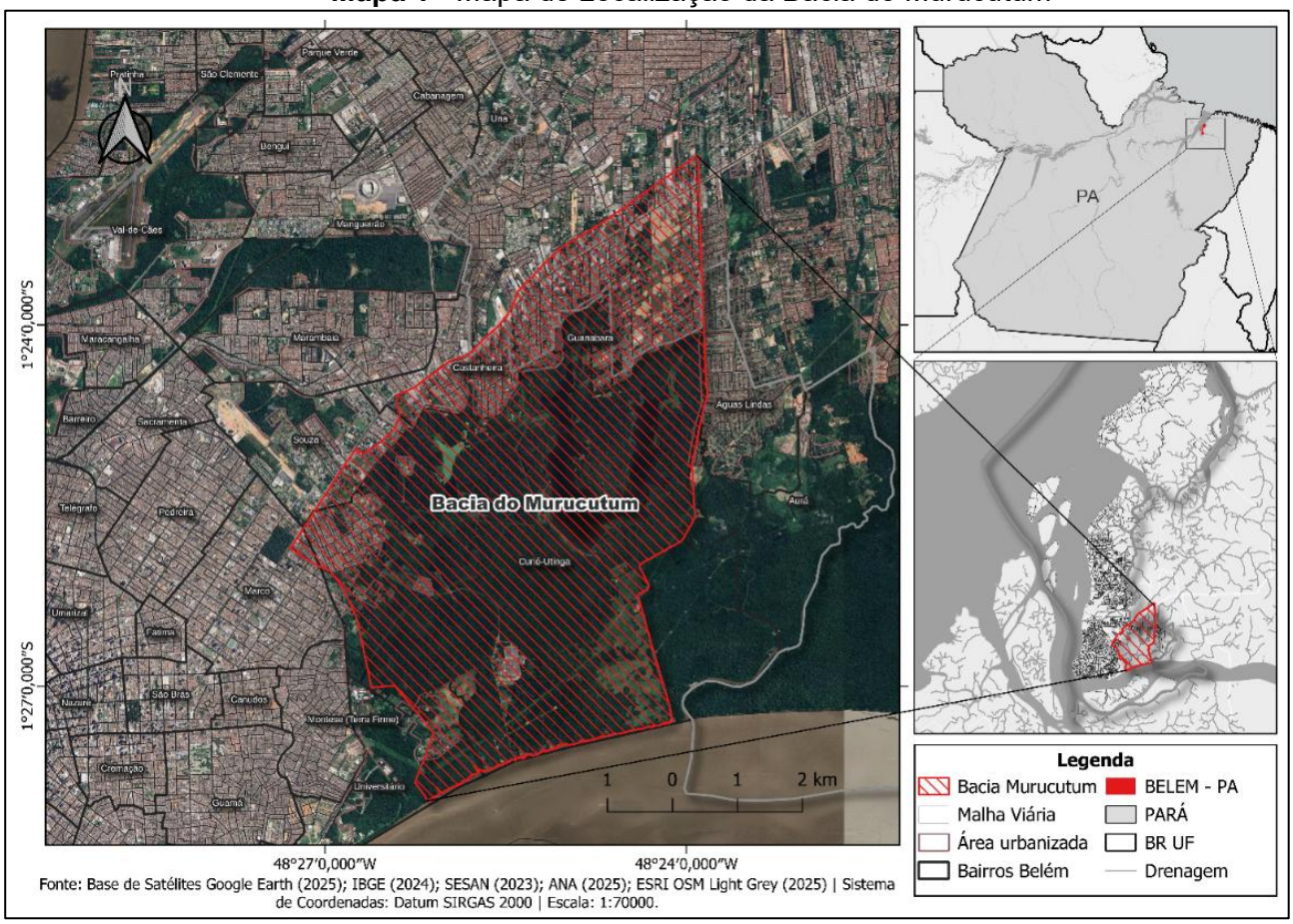


Fonte: Autoria Própria.

A área de estudo que corresponde à bacia hidrográfica do Murucutum, localizada na porção urbana de Belém, capital do estado do Pará. A região insere-se no contexto climático equatorial úmido, caracterizado por elevadas temperaturas médias anuais, alta umidade relativa do ar e regime pluviométrico intenso ao longo do ano. A bacia apresenta ocupação heterogênea, marcada pela coexistência de áreas urbanizadas, infraestrutura viária, equipamentos urbanos e cobertura vegetal, configurando uma paisagem urbana ambientalmente complexa principalmente por ter a Unidade de Conservação Parque Estadual do Utinga inserido na área da Bacia (Belém, 2020). Abaixo, no Mapa 1, temos a localização da área de estudo.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

Mapa 1 - Mapa de Localização da Bacia do Murucutum



Fonte: Autoria Própria.

A base de dados do estudo foi composta por imagens de satélite do sensor Sentinel-2 da Copernicus, selecionadas em função da baixa cobertura de nuvens (máximo de 30%) e da adequada qualidade espectral, além da resolução de 10m. Para a análise da cobertura vegetal, foram utilizadas imagens referentes aos anos de 2025 (12/08), 2024 (11/09) e 2023 (12/09), enquanto para o mapeamento do uso e ocupação do solo foram empregadas imagens dos anos de 2024, 2023 e 2022 do projeto MapBiomas Coleção 10.

Adicionalmente, foram utilizados dados vetoriais correspondentes ao limite da bacia hidrográfica do Murucutum, obtidos a partir de bases cartográficas oficiais e de estudos prévios desenvolvidos para a área. As imagens do satélite Sentinel-2 foram inicialmente submetidas à composição colorida falsa (False Color Composite), utilizando as bandas do infravermelho próximo, vermelho e verde, com o objetivo de realçar a cobertura vegetal e auxiliar na verificação visual da distribuição espacial do vigor vegetal e das áreas não vegetadas. Posteriormente, o processamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi realizado a partir da razão normalizada entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, amplamente empregada na identificação e análise da cobertura vegetal. O índice foi calculado com base na relação entre a diferença e a soma dessas bandas espectrais, conforme a Equação (1), na qual NIR corresponde à reflectância do infravermelho próximo e RED à reflectância do vermelho. Os valores obtidos foram interpretados de forma qualitativa, sendo agrupados em classes representativas de baixa, média e alta densidade de vegetação, com o objetivo de facilitar a análise espacial da distribuição da cobertura vegetal na bacia.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Vermelho})}{(\text{NIR} + \text{Vermelho})} \quad (1)$$

Onde:

NIR é a reflectância da luz no infravermelho próximo e Vermelho é a reflectância da luz visível vermelha, de forma que calculando a saúde e o vigor da vegetação a partir da diferença e soma dessas bandas, resultando em um valor entre -1 e 1.

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado a partir da utilização das camadas temáticas da Coleção 10 do projeto MapBiomas, empregadas como base de referência espacial e temática para a área de estudo. As classes de uso e ocupação do solo foram extraídas e analisadas em ambiente de geoprocessamento, considerando as principais categorias presentes na bacia do Murucutum. Para fins de análise e compatibilização com os objetivos do estudo, as classes originais do MapBiomas foram agregadas em grupos temáticos representativos, contemplando área urbanizada, cobertura vegetal, corpos hídricos e áreas de solo exposto. O procedimento adotado priorizou a consistência espacial e a comparabilidade temporal entre os anos analisados, evitando processos de reclassificação automática complexos que poderiam introduzir inconsistências em contexto urbano heterogêneo.

Após a definição das classes temáticas, os polígonos vetoriais foram organizados em uma base cartográfica única, associando-se a cada feição um atributo correspondente à sua classe de uso e ocupação. O cálculo das áreas foi realizado no próprio ambiente SIG, a partir da geometria dos polígonos, utilizando o sistema de coordenadas projetadas SIRGAS 2000, UTM 22s, de forma a assegurar a obtenção de valores de área em unidades métricas. Todas as etapas de processamento, análise espacial e elaboração dos produtos cartográficos foram desenvolvidas no software QGIS versão 3.40, utilizando ferramentas nativas de geoprocessamento e análise raster e vetorial, assegurando a integração dos diferentes conjuntos de dados e a coerência dos resultados obtidos.

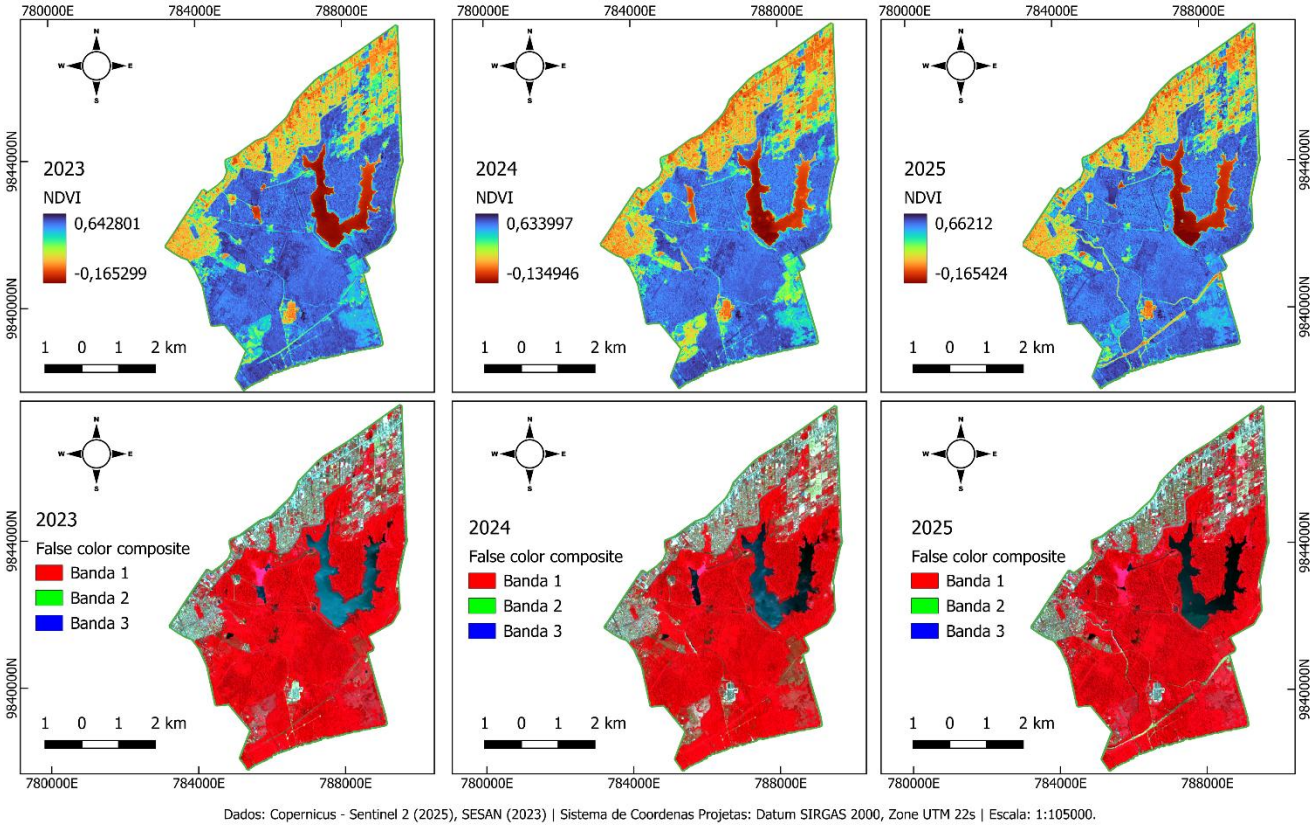
A etapa de análise estatística foi conduzida com enfoque descritivo e comparativo, tendo como base os resultados quantitativos derivados dos mapas de NDVI e de uso e ocupação do solo. As áreas correspondentes a cada classe temática foram organizadas em tabelas por ano, permitindo a comparação direta entre os períodos analisados. A partir dessas tabelas, foram elaborados gráficos de distribuição percentual e séries temporais, com o objetivo de evidenciar as variações interanuais na cobertura vegetal e nas classes de uso do solo. Essa abordagem possibilitou a identificação de tendências, aumentos ou reduções relativas entre as classes, bem como a avaliação da estabilidade ou dinamicidade espacial da cobertura da bacia ao longo do tempo. Os resultados estatísticos foram utilizados como suporte à interpretação espacial dos mapas temáticos, integrando a análise cartográfica e a análise quantitativa dos dados

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram feitos os mapas de NDVI, onde em Mapa 2 apresenta os mapas de NDVI e a composição em falsa cor (False Color Composite) da bacia do Murucutum para os anos de 2023, 2024 e 2025, constituindo a base inicial para a análise dos resultados obtidos. De maneira geral, a leitura integrada do NDVI e da composição em falsa cor fornece subsídios visuais para a compreensão dos padrões espaciais da paisagem e orienta a análise quantitativa apresentada a seguir.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

Mapa 2 – Mapas de NDVI e False Color da Bacia do Murucutum (2023–2025)



Fonte: Autoria própria.

A análise visual do Mapa 2 evidencia diferenças na distribuição espacial do vigor da cobertura vegetal entre os anos avaliados, com destaque para variações na intensidade do NDVI em áreas específicas da bacia. Observa-se que, embora a configuração espacial geral se mantenha semelhante, determinados setores apresentam mudanças no padrão espectral da vegetação, refletidas na alternância entre classes de maior e menor vigor. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta a quantificação das classes de NDVI para os anos de 2023, 2024 e 2025, expressa em área e percentual, permitindo a comparação objetiva entre os diferentes períodos.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas do NDVI na bacia do Murucutum (2023–2025)

Ano	NDVI mín	NDVI méd	NDVI máx	Desvio padrão
2023	-0,215	0,402	0,666	0,210
2024	-0,192	0,379	0,663	0,203
2025	-0,205	0,412	0,686	0,214

Fonte: Autoria Própria.

Os valores médios de NDVI variaram entre 0,38 e 0,41 ao longo do período analisado, indicando a predominância de cobertura vegetal de densidade intermediária na bacia do Murucutum. Observa-se uma leve redução do NDVI médio no ano de 2024, seguida de recuperação em 2025, possivelmente associada à variabilidade interanual da precipitação e à dinâmica do uso e ocupação do solo. Os valores mínimos, incluindo valores negativos, estão associados a corpos hídricos e áreas com solo exposto, enquanto os valores máximos, superiores a 0,66, indicam a presença de manchas de vegetação mais densa. Esses resultados estatísticos estão sintetizados na Tabela 2, que apresenta os

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

valores mínimos, máximos e médios de NDVI para os anos analisados.

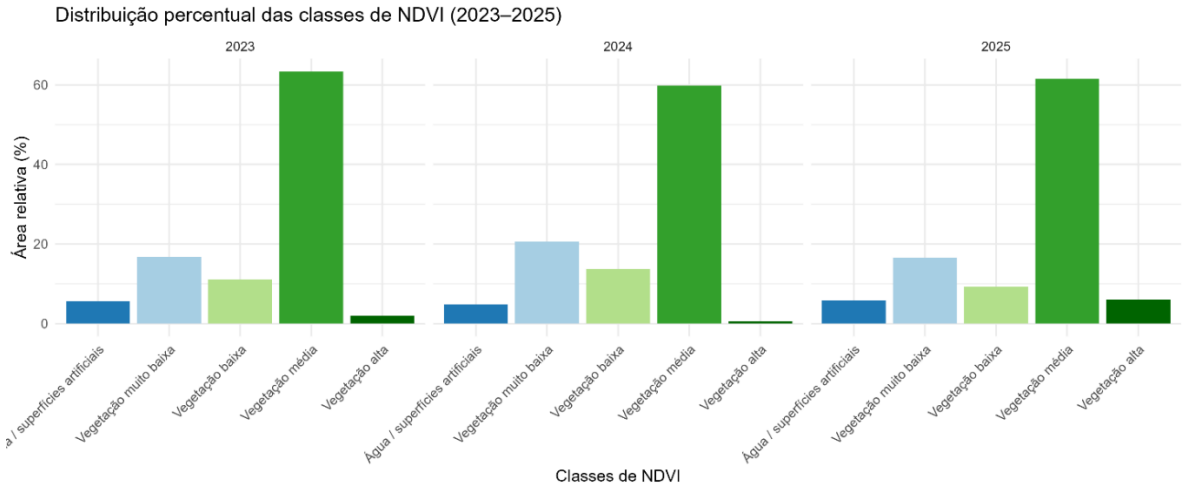
Tabela 02 – Distribuição espacial das classes de NDVI na bacia do Murucutum (2023–2025)

Classe	Uso/Vegetação	2023 (km² / %)	2024 (km² / %)	2025 (km² / %)
1	Água / superfícies artificiais	2,00 / 5,67	1,72 / 4,88	2,06 / 5,85
2	Vegetação muito baixa	5,96 / 16,91	7,27 / 20,65	5,91 / 16,78
3	Vegetação baixa	3,96 / 11,25	4,83 / 13,70	3,31 / 9,39
4	Vegetação média	22,58 / 64,08	21,20 / 60,16	21,82 / 61,94
5	Vegetação alta	0,72 / 2,04	0,21 / 0,58	2,13 / 6,04
Total	**—**	**35,23 / 100**	**35,23 / 100**	**35,23 / 100**

Fonte: Autoria Própria.

Conforme apresentado na Tabela 2, os valores estatísticos do NDVI evidenciam variações moderadas ao longo do período analisado, com valores médios situados entre 0,38 e 0,41, o que indica a predominância de cobertura vegetal de densidade intermediária na bacia do Murucutum. Observa-se uma redução do valor médio em 2024 em relação a 2023, seguida de recuperação em 2025, refletindo variações interanuais no vigor da vegetação. Os valores mínimos, incluindo registros negativos, estão associados principalmente a corpos hídricos e áreas com solo exposto, enquanto os valores máximos, superiores a 0,66, correspondem a manchas de vegetação mais densa identificadas nos mapas temáticos. A distribuição temporal desses valores estatísticos é ilustrada no Gráfico 1, que permite visualizar de forma sintética a variação interanual do NDVI médio na área de estudo.

Gráfico 1 — Distribuição percentual das classes de NDVI (2023–2025)



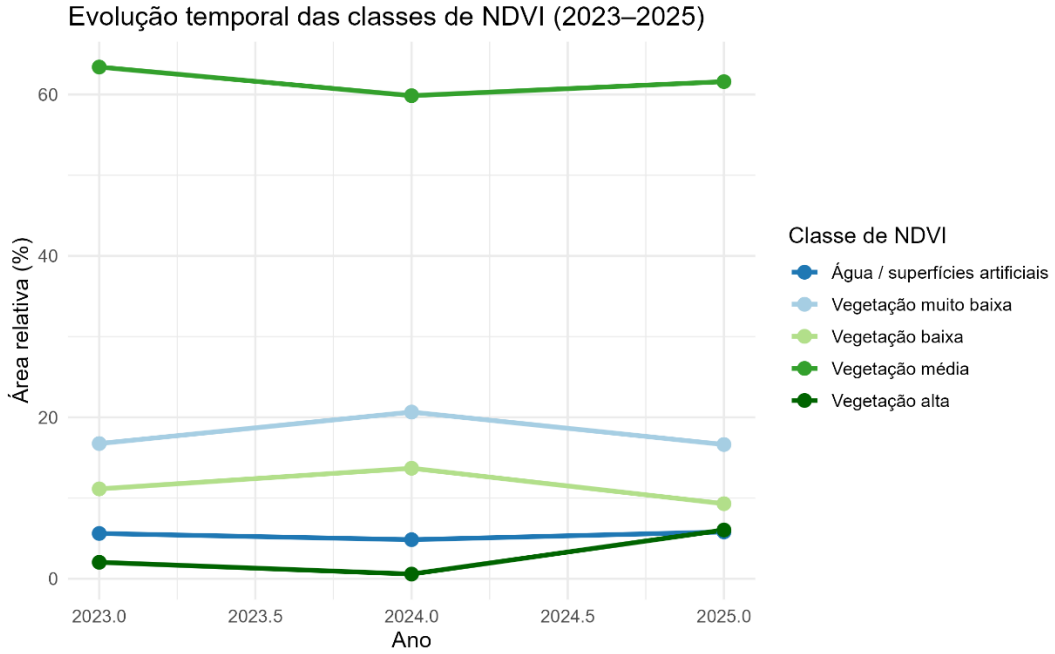
Fonte: Autoria Própria.

Distribuição relativa das classes de NDVI na área de estudo para os anos de 2023, 2024 e 2025. Observa-se o predomínio da classe de vegetação média ao longo de toda a série temporal, bem como variações interanuais nas classes de vegetação muito baixa, baixa e alta, indicando mudanças no vigor e na estrutura da cobertura vegetal. A distribuição relativa das classes de NDVI na área de estudo para os anos de 2023, 2024 e 2025 é

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

apresentada no Gráfico 2. Observa-se o predomínio da classe de vegetação média ao longo de toda a série temporal, bem como variações interanuais nas classes de vegetação muito baixa, baixa e alta, indicando mudanças no vigor e na estrutura da cobertura vegetal.

Gráfico 2 — Evolução temporal das classes de NDVI (2023–2025)



Fonte: Autoria Própria.

Evolução temporal da área relativa ocupada por cada classe de NDVI entre 2023 e 2025. A série evidencia estabilidade das superfícies artificiais e corpos d'água, oscilações nas classes de vegetação de menor vigor e elevada sensibilidade interanual da vegetação mais densa, refletindo a dinâmica da cobertura vegetal ao longo do período analisado.

Conforme ilustrado no Gráfico 2, a evolução temporal das classes de NDVI entre 2023 e 2025 evidencia padrões distintos de variação no vigor da cobertura vegetal da bacia do Murucutum. A classe associada à água e superfícies artificiais manteve participação relativamente constante ao longo da série temporal, com valores próximos a 5% da área total, indicando estabilidade na resposta espectral dessas superfícies no período analisado. As pequenas oscilações observadas entre os anos podem estar relacionadas a variações pontuais na umidade superficial e nas condições ambientais no momento da aquisição das imagens, não configurando, isoladamente, mudanças estruturais na paisagem.

As classes de vegetação muito baixa e vegetação baixa apresentaram comportamento semelhante, com aumento relativo em 2024 e redução em 2025. Esse padrão sugere uma redistribuição temporária do vigor vegetal, possivelmente associada à variabilidade interanual das condições climáticas e ao estado fenológico da vegetação. Em ambientes urbanos e periurbanos amazônicos, essas classes tendem a representar áreas com vegetação rala, gramíneas e superfícies parcialmente expostas, cuja resposta espectral é altamente sensível a alterações sazonais, refletindo-se diretamente nos valores de NDVI.

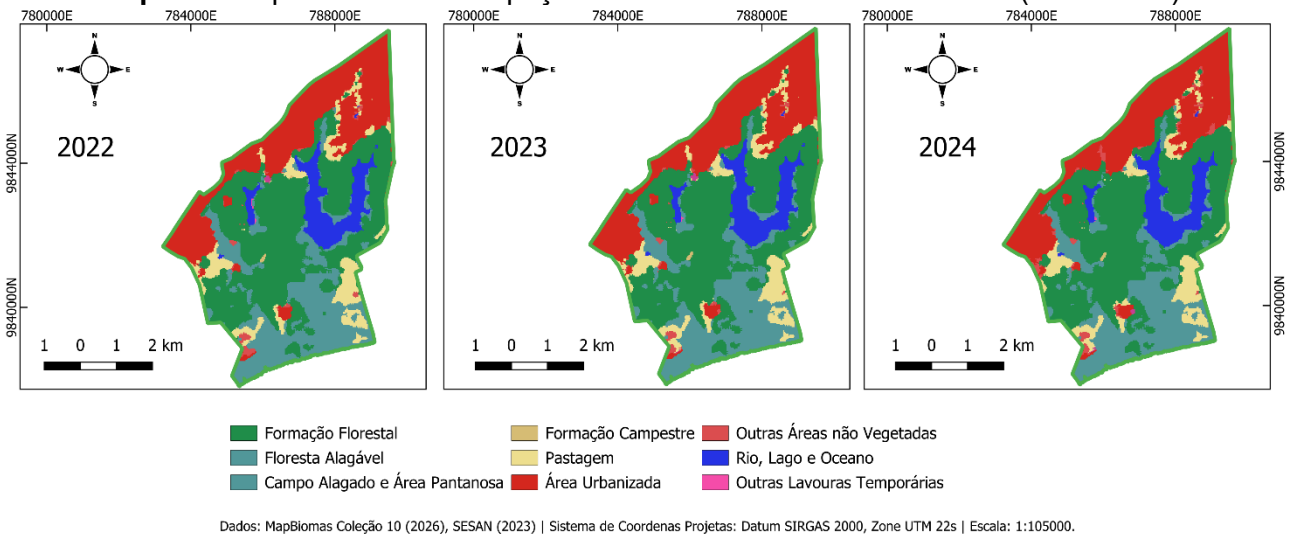
A vegetação média destacou-se como a classe dominante em todos os anos analisados, ocupando consistentemente mais de 60% da área da bacia. Essa predominância indica a presença de uma cobertura vegetal relativamente contínua, que desempenha papel central na organização espacial da paisagem. As variações observadas nessa classe foram sutis, com leve redução em 2024 e recuperação em 2025, sugerindo que esse compartimento atua como elemento intermediário na dinâmica espectral,

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

absorvendo oscilações das classes adjacentes de menor e maior vigor. A classe de vegetação alta apresentou as variações mais expressivas ao longo do período, com redução acentuada em 2024 e aumento significativo em 2025. Esse comportamento evidencia a sensibilidade das áreas de maior densidade vegetal às condições ambientais e reforça a importância da análise temporal para a correta interpretação dos padrões observados. De forma geral, os resultados indicam que a dinâmica da cobertura vegetal na bacia do Murucutum é marcada por flutuações no vigor vegetal ao longo do tempo, refletindo respostas espectrais variáveis que demandam análise integrada com dados de uso e ocupação do solo, abordados na sequência.

Nesse sentido, o Mapa 3 contendo os mapas de uso e ocupação do solo apresentados a seguir fornecem uma visão detalhada da distribuição espacial das classes temáticas ao longo do período analisado de 2024, 2023 e 2022, constituindo base fundamental para a interpretação integrada da dinâmica da paisagem urbana amazônica.

Mapa 3 – Mapas de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Murucutum (2024-2022)



Fonte: Autoria Própria.

O Mapa 3 apresenta a distribuição espacial das classes de uso e ocupação do solo na bacia do Murucutum, evidenciando a predominância das formações florestais e das áreas urbanizadas no contexto da paisagem analisada. Observa-se ampla ocupação por classes associadas à cobertura vegetal natural, com destaque para a formação florestal e a floresta alagável, que se distribuem de forma contínua e ocupam parcelas expressivas da área da bacia. As áreas urbanizadas concentram-se principalmente nos setores mais antropizados, configurando núcleos bem definidos e espacialmente coerentes com a malha urbana local. As demais classes, como pastagem, corpos hídricos e áreas não vegetadas, apresentam distribuição mais fragmentada, refletindo a heterogeneidade típica de ambientes urbanos amazônicos. A quantificação das áreas ocupadas por cada classe nos anos de 2022, 2023 e 2024 é apresentada de forma detalhada na Tabela 3, permitindo a comparação temporal e a análise das variações espaciais observadas.

RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu
Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

Tabela 3 – Série comparativa dos anos (m²)

Classe	2022 (m²)	2023 (m²)	2024 (m²)
Agricultura	33.913	33.913	24.095
Formação Florestal	13.582.230	13.582.230	13.594.707
Floresta Alagável	7.020.922	7.020.922	7.059.717
Campo Alagado e Área Pantanosa	27.666	27.666	29.449
Formação Campestre	49.085	49.085	47.297
Pastagem	2.672.894	2.672.894	2.416.599
Área Urbanizada	8.922.737	8.922.737	8.925.709
Outras Áreas não Vegetadas	325.745	325.745	595.226
Rio, Lago e Oceano	2.643.443	2.643.443	2.584.369
Outras Lavouras Temporárias	6.247	6.247	5.354
Total	35.284.883	35.284.883	35.282.521

Fonte: Autoria Própria.

A análise percentual das classes de uso e ocupação do solo evidencia elevada estabilidade na composição espacial da bacia do Murucutum ao longo do período analisado. As classes de formação florestal e floresta alagável mantiveram-se como os principais componentes da paisagem, representando conjuntamente cerca de 60% da área total em todos os anos, o que reforça a predominância de cobertura vegetal natural na bacia. As áreas urbanizadas também apresentaram participação percentual praticamente constante, em torno de 25%, indicando manutenção do padrão de ocupação urbana no intervalo temporal considerado. Pequenas variações foram observadas em classes específicas, como a redução relativa da pastagem e o aumento das áreas não vegetadas em 2024, sugerindo ajustes pontuais na dinâmica de uso do solo, sem alterações expressivas na estrutura geral da paisagem. A distribuição percentual detalhada das classes para os anos de 2022, 2023 e 2024 encontra-se sistematizada na Tabela 4, permitindo a comparação direta entre os períodos analisados.

Tabela 4 – Série temporal de uso e ocupação (%)

Classe	2022 (%)	2023 (%)	2024 (%)
Agricultura	0,10	0,10	0,07
Formação Florestal	38,50	38,50	38,54
Floresta Alagável	19,90	19,90	20,01
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,08	0,08	0,08
Formação Campestre	0,14	0,14	0,13
Pastagem	7,57	7,57	6,85
Área Urbanizada	25,29	25,29	25,30
Outras Áreas não vegetadas	0,92	0,92	1,69
Rio, Lago e Oceano	7,49	7,49	7,32
Outras Lavouras Temporárias	0,02	0,02	0,02

Fonte: Autoria Própria.

A distribuição percentual das classes de uso e ocupação do solo (Tabela 4) evidencia que a bacia do Murucutum apresenta, ao longo do período de 2022 a 2024, um padrão espacial marcadamente estável, com predomínio de classes associadas à cobertura vegetal natural. As formações florestais constituem o principal elemento da paisagem, ocupando aproximadamente 38,5% da área da bacia em todos os anos analisados, o que indica a permanência de extensos remanescentes vegetais mesmo em um contexto urbano. De forma complementar, a classe de floresta alagável manteve participação próxima a 20%, refletindo a forte influência das condições hidrológicas e da planície de inundação sobre a

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

organização espacial da vegetação local, característica recorrente de bacias amazônicas de baixa declividade.

As classes associadas a ambientes úmidos, como campo alagado e áreas pantanosas, apresentaram percentuais reduzidos e praticamente invariáveis (≈0,08%), o que sugere que essas feições possuem distribuição espacial bem delimitada e pouco suscetível a alterações detectáveis no intervalo temporal analisado. Comportamento semelhante foi observado para a formação campestre, cuja participação permaneceu inferior a 0,15%, indicando que esse tipo de cobertura possui expressão limitada na bacia e não representa um elemento estrutural dominante da paisagem.

As áreas urbanizadas corresponderam a cerca de um quarto da área total da bacia, com percentuais estáveis em torno de 25,3% ao longo dos três anos. Essa constância sugere que, no período considerado, não ocorreram expansões urbanas significativas capazes de alterar de forma expressiva a proporção dessa classe, ao menos na escala de análise adotada. Esse resultado é coerente com a manutenção do padrão de ocupação consolidada em áreas urbanas maduras, nas quais os processos de expansão tendem a ser mais lentos ou espacialmente concentrados.

No que se refere às classes antrópicas de menor expressão, observa-se redução relativa da pastagem em 2024, passando de 7,57% para 6,85%, o que pode indicar processos de reconversão do uso do solo, seja por regeneração vegetal, seja por substituição por outras classes não vegetadas. Em contrapartida, a classe “outras áreas não vegetadas” apresentaram aumento expressivo em 2024, praticamente dobrando sua participação percentual em relação aos anos anteriores. Esse comportamento pode estar associado à exposição temporária do solo, áreas em preparo, superfícies artificializadas ou feições urbanas específicas, ressaltando a sensibilidade dessa classe a alterações pontuais e transitórias na paisagem. As classes agricultura e outras lavouras temporárias apresentaram percentuais residuais ao longo de toda a série temporal, inferiores a 0,1%, indicando que a atividade agrícola possui baixa representatividade espacial na bacia do Murucutum. De modo semelhante, a classe correspondente a rios, lagos e oceano manteve participação estável em torno de 7,4%, refletindo a permanência das feições hídricas superficiais e corroborando a coerência espacial entre os mapas de uso do solo e a hidrografia local.

A integração entre os resultados do NDVI e da classificação do uso e ocupação do solo permitiu fazer uma análise conjunta da distribuição espacial da cobertura vegetal e de sua variação temporal na bacia do Murucutum, já que enquanto o mapeamento do uso e ocupação forneceu a caracterização estrutural da paisagem, os índices espectrais possibilitaram avaliar alterações no vigor e na densidade da vegetação ao longo do período analisado, ampliando a compreensão da dinâmica ambiental da área de estudo. A predominância das classes de formação florestal e floresta alagável, que juntas ocupam aproximadamente 60% da área da bacia, estabelece um padrão espacial coerente com o domínio da classe de vegetação média identificado nos mapas de NDVI.

As variações interanuais observadas nas classes de NDVI de menor vigor, especialmente vegetação muito baixa e baixa, contribuíram para a avaliação temporal da cobertura vegetal, evidenciando alterações que não se refletem necessariamente em mudanças nas classes de uso do solo. O aumento dessas classes em 2024, sem alterações expressivas nas proporções de pastagem, áreas urbanizadas ou áreas não vegetadas, mostra que a variabilidade temporal do NDVI está associada principalmente a mudanças no estado fisiológico da vegetação, como variações fenológicas ou diferenças nas condições ambientais, e não à conversão permanente do uso da terra. De modo complementar, a análise da classe de vegetação alta reforça a utilidade do NDVI para captar a dinâmica temporal do vigor vegetal. A redução observada em 2024, seguida de recuperação expressiva em 2025, ocorreu em um contexto de estabilidade do uso e

e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

ocupação do solo, demonstrando que a vegetação mais densa responde de forma sensível às condições ambientais interanuais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da cobertura vegetal na bacia do Murucutum, por meio do NDVI e da classificação do uso e ocupação do solo, permitiu caracterizar de forma consistente a distribuição espacial e a variação temporal da vegetação em um contexto urbano amazônico. Os resultados evidenciaram o predomínio de formações vegetais de densidade intermediária, associadas principalmente às classes de formação florestal e floresta alagável, bem como variações interanuais no vigor vegetal, especialmente nas classes de menor e maior densidade.

A estabilidade das classes de uso e ocupação do solo ao longo do período analisado indica que as variações observadas nos valores de NDVI estão mais relacionadas a mudanças no estado fisiológico da vegetação do que a processos de conversão do uso da terra. Nesse sentido, o NDVI mostrou-se uma ferramenta eficiente para captar a dinâmica temporal do vigor vegetal, complementando a análise estrutural fornecida pelos mapas de uso e ocupação do solo.

Dessa forma, conclui-se que a integração entre dados espectrais e informações temáticas de uso do solo é adequada para a análise ambiental em áreas urbanizadas da Amazônia, permitindo distinguir variações funcionais da cobertura vegetal de alterações estruturais da paisagem. A abordagem adotada contribui para estudos territoriais e ambientais, fornecendo base técnica para o monitoramento da cobertura vegetal urbana e para análises espaciais em bacias hidrográficas de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

BELÉM. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Volume I – Caracterização Geral do Município de Belém**. Belém: Prefeitura Municipal de Belém; UCP-PROMABEN; Consórcio EGIS–AMPLA, nov. 2020. Disponível em: https://pmsb.belem.pa.gov.br/. Acesso em: 30 novembro 2025.

CARVALHO, A. C. L.; ROCHA, G. de M. Analysis of Urban Socio-Environmental Risks and Vulnerability, in the face of Disordered Development and Pressure on Water Resources in Belém-PA. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 18127–18142, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n4-108.

CUNHA, Y. O. do N.; FERREIRA, H. S.; LIMA, J. B. M. de; SANTOS, A. S. dos; SILVA, Â. B. B.; COSTA, T. J. C. da; RODRIGUES, M. S. Utilização das geotecnologias para determinação do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Murutucum em Belém-PA. **Revista Sociedade Científica**, v. 7, n. 1, p. 3376–3389, 2024. DOI: https://doi.org/10.61411/rsc202454217.

GARDINER, Beth. Green makeover creates 'giant sponge' to cut town's flood risk. **The Times**, 15 nov. 2024. Disponível em: https://www.thetimes.com/uk/environment/article/green-makeover-giant-sponge-flood-risk-clean-it-up-nmm56vblp.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; BARTON, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 86, p. 235–245, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

JATO-ESPINO, D.; CAPRA-RIBEIRO, F.; MOSCARDÓ, V.; BARTOLOMÉ DEL PINO, L. E.; ... A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 86, p. 127998, 2023. DOI: 10.1016/j.ufug.2023.127998.

LI, X.; ZHANG, C.; LI, W.; RICARD, R.; MENG, Q.; ZHANG, W. Assessing spatiotemporal dynamics of urban vegetation using Landsat data. **Landscape and Urban Planning**, v. 162, p. 71–84, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.009.

LI, X.; ZHOU, Y.; ASRAR, G. R.; IMHOFF, M.; LI, X. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 605–606, p. 426–435, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.229.

PENG, J.; LIU, Y.; SHEN, H.; HAN, Y.; PAN, Y. Vegetation dynamics and associated driving forces in urban areas. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 125–134, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.020.

SETÓ, K. C.; GÜNERALP, B.; HUTYRA, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 40, p. 16083–16088, 2012. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: United Nations, 2015.

Yu, W.; Zhou, W.; Dawa, Z.; Wang, J.; Qian, Y.; Wang, W. Quantifying Urban Vegetation Dynamics from a Process Perspective Using Temporally Dense Landsat Imagery. **Remote Sensing**, v. 13, n. 16, p. 3217, 2021. DOI: 10.3390/rs13163217.

WENG, Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. **Remote Sensing of Environment**, v. 117, p. 34–49, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030.

WU, J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning,** Amsterdam, v. 125, p. 209–221, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018.

GARDINER, M. M. **Urban ecology: science of cities**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

ZHOU, D.; ZHAO, S.; LIU, S.; ZHANG, L.; ZHU, C. Surface urban heat island in China's major cities: Spatial patterns and drivers. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 51–61, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cietífico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através da bolsa de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia (PPGTEC)

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0045

da Universidade do Estado do Pará (UEPA) que me proporcionou o desenvolvimento desta pesquisa.