





## DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA DO IGARAPÉ GRANDE E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COM DADOS DO MAPBIOMAS

DELIMITATION OF THE IGARAPÉ GRANDE SUB-BASIN AND SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND OCCUPATION WITH MAPBIOMAS DATA

DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA DE IGARAPÉ GRANDE Y ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO CON DATOS DE MAPBIOMAS

Deividy Kaik de Lima Araujo<sup>3</sup> ; Maria Eduarda dos Santos Viana<sup>2\*</sup> ; Manoel Moises Ferreira de Queiroz<sup>3</sup> ; Caio Anderson da Silva de Almeida<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor no Instituto Federal de Roraima (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil; <sup>2</sup>Graduando pelo Instituto Federal de Roraima (IFRR). Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil; <sup>3</sup>Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil; <sup>4</sup>Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor no Instituto Federal de Roraima (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil.

\*Autor correspondente: [viana.eduarda@academico.ifrr.edu.br](mailto:viana.eduarda@academico.ifrr.edu.br)

Recebido: 10/08/2025 | Aprovado: 25/08/2025 | Publicado: 06/09/2025

**Resumo:** O uso e ocupação do solo são fatores determinantes para a dinâmica ambiental e hidrológica de bacias hidrográficas, influenciando diretamente processos como o escoamento superficial, infiltração e qualidade da água. A análise espaço-temporal dessas variações é fundamental para o planejamento sustentável e a gestão dos recursos naturais. Neste contexto, este estudo teve como objetivo delimitar a sub-bacia do Igarapé Grande utilizando os algoritmos Watershed e Wateroutlet no software QGIS, aliado à análise da variação do uso e ocupação do solo entre os anos de 1993 e 2023, com dados do MapBiomias – Coleção 9. A sub-bacia delimitada possui uma área de 32,007 km<sup>2</sup> e perímetro de 52,705 km. A análise indicou significativa expansão da área urbanizada, que aumentou de 21,50 km<sup>2</sup> em 1993 para 24,68 km<sup>2</sup> em 2023. Aplicou-se regressão linear simples para projetar o crescimento urbano futuro, gerando a equação  $y = 0,1049x - 187,05$ , com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,896$ , estimando áreas urbanas de 25,41 km<sup>2</sup> para 2030, 26,46 km<sup>2</sup> para 2040 e 27,51 km<sup>2</sup> para 2050. Além disso, outras classes de uso do solo, como Formação Campestre, também apresentaram variações relevantes. Os resultados evidenciam as transformações territoriais da sub-bacia e reforçam a importância do monitoramento contínuo e da gestão ambiental integrada para mitigar os impactos da urbanização sobre os recursos naturais e o regime hidrológico local.

**Palavras-chave:** Delimitação de sub-bacia. Uso e ocupação do solo. Regressão linear. Expansão urbana.

**Abstract:** Land use and occupation are determining factors for the environmental and hydrological dynamics of river basins, directly influencing processes such as surface runoff, infiltration and water quality. The spatiotemporal analysis of these variations is fundamental for sustainable planning and management of natural resources. In this context, this study aimed to delimit the Igarapé Grande sub-basin using the Watershed and Wateroutlet algorithms in the QGIS software, combined with the analysis of the variation in land use and occupation between 1993 and 2023, with data from MapBiomias – Collection 9. The delimited sub-basin has an area of 32,007 km<sup>2</sup> and a perimeter of 52,705 km. The analysis indicated a significant expansion of the urbanized area, which increased from 21.50 km<sup>2</sup> in 1993 to 24.68 km<sup>2</sup> in 2023. Simple linear regression was applied to project future urban growth, generating the equation  $y = 0.1049x - 187.05$ , with coefficient of determination  $R^2 = 0.896$ , estimating urban areas of 25.41 km<sup>2</sup> for 2030, 26.46 km<sup>2</sup> for 2040 and 27.51 km<sup>2</sup> for 2050. In addition, other land use classes, such as Campestre Formation, also showed relevant variations. The results highlight the territorial transformations of the sub-basin and reinforce the importance of continuous monitoring and integrated environmental management to mitigate the impacts of urbanization on natural resources and the local hydrological regime.

**Keywords:** Sub-basin delimitation. Land use and occupation. Linear regression. Urban expansion.

**Resumen:** El uso y ocupación del suelo son factores determinantes de la dinámica ambiental e hidrológica de las cuencas hidrográficas, influyendo directamente en procesos como la escorrentía superficial, la infiltración y la calidad del agua. El análisis espaciotemporal de estas variaciones es fundamental para la planificación y gestión sostenible de los recursos naturales. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo delimitar la subcuenca del Igarapé Grande utilizando los algoritmos Watershed y Wateroutlet del software QGIS, combinado con el análisis de la variación en el uso y ocupación del suelo entre los años 1993 y 2023, con datos de MapBiomas – Colección 9. La subcuenca delimitada tiene una superficie de 32,007 km<sup>2</sup> y un perímetro de 52,705 km. El análisis indicó una expansión significativa del área urbanizada, que aumentó de 21,50 km<sup>2</sup> en 1993 a 24,68 km<sup>2</sup> en 2023. Se aplicó una regresión lineal simple para proyectar el crecimiento urbano futuro, generando la ecuación  $y = 0,1049x - 187,05$ , con coeficiente de determinación  $R^2 = 0,896$ , estimando áreas urbanas de 25,41 km<sup>2</sup> para 2030, 26,46 km<sup>2</sup> para 2040 y 27,51 km<sup>2</sup> para 2050. Además, otras clases de uso de la tierra, como la Formación de Pastizales, también mostraron variaciones relevantes. Los resultados resaltan las transformaciones territoriales de la subcuenca y refuerzan la importancia del monitoreo continuo y la gestión ambiental integrada para mitigar los impactos de la urbanización sobre los recursos naturales y el régimen hidrológico local.

**Palabras-clave:** Delimitación de subcuencas. Uso y ocupación del suelo. Regresión lineal. Expansión urbana.

## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento e a análise das transformações na paisagem, especialmente nas áreas urbanas e periurbanas, são fundamentais para o planejamento territorial e a gestão sustentável dos recursos naturais. A delimitação de bacias hidrográficas tem papel estratégico nesse contexto, uma vez que essas unidades espaciais são consideradas as mais adequadas para o gerenciamento integrado de recursos hídricos (Tucci, 2017). Ao se considerar a bacia como uma unidade de planejamento, torna-se possível compreender como as alterações no uso e ocupação do solo impactam os processos hidrológicos, a qualidade da água e os serviços ecossistêmicos (Mota *et al.*, 2020).

Com os avanços das geotecnologias, ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como o QGIS, têm se mostrado eficientes para a delimitação de bacias hidrográficas com base em Modelos Digitais de Elevação (MDE). Algoritmos hidrológicos disponíveis nesse ambiente, como o *r.watershed* e o *r.wateroutlet*, permitem extrair com precisão redes de drenagem e divisores de água, mesmo em regiões com baixa densidade de estações hidrometeorológicas (Neto *et al.*, 2021).

No caso da sub-bacia do Igarapé Grande, situada em um território de significativa expansão urbana no estado de Roraima, compreender sua dinâmica ambiental e delimitação hidrográfica é essencial para subsidiar políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial e à conservação dos recursos hídricos. A região tem enfrentado crescente pressão antrópica, principalmente pela intensificação do uso do solo urbano e agrícola, o que pode acarretar aumento no escoamento superficial, assoreamento de corpos d'água e redução da infiltração (Miranda *et al.*, 2022).

A análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo foi realizada por meio da base de dados do projeto MapBiomas, em sua Coleção 9, a mais recente até o momento. Esta coleção apresenta melhorias significativas na acurácia da classificação e na resolução das séries temporais de cobertura e uso da terra em todo o território nacional, com destaque para a Amazônia Legal, onde se insere o estado de Roraima (MAPBIOMAS, 2024). Por meio dessa base de dados, é possível identificar e quantificar as mudanças ocorridas nas diferentes classes de uso

do solo, como áreas urbanizadas, pastagens, vegetação nativa, corpos hídricos, entre outros, permitindo uma análise crítica das transformações ocorridas nas últimas décadas.

Além da avaliação histórica das mudanças no uso e ocupação do solo, este estudo também realiza uma projeção de cenários futuros de urbanização na sub-bacia, com base na tendência observada nas séries temporais. Para isso, aplicou-se uma regressão linear simples utilizando os dados de área urbanizada disponíveis no MapBiomas entre os anos de 1983 e 2023. O método permite estimar, com base no comportamento passado, a possível expansão urbana nas próximas décadas, servindo como base para ações preventivas e de planejamento urbano-ambiental.

Diante desse panorama, o presente estudo tem como objetivo principal delimitar a sub-bacia do Igarapé Grande utilizando o ambiente QGIS, por meio dos algoritmos Watershed e Wateroutlet, e caracterizar a variação espaço-temporal do uso e ocupação do solo com base nos dados da Coleção 9 do MapBiomas. Como objetivo complementar, busca-se estimar os cenários futuros de expansão da área urbanizada utilizando regressão linear simples, de modo a contribuir para a compreensão da dinâmica antrópica e seus impactos sobre o território.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi dividida em quatro etapas principais (Figura 1): (1) obtenção e preparação dos dados, (2) delimitação da sub-bacia do Igarapé Grande, (3) análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo, e (4) projeção de cenários futuros de área urbanizada.

**Figura 1** – Fluxograma metodologia.



**Fonte:** Autores, 2016.

### 2.1 Área de Estudo

A sub-bacia do Igarapé Grande está localizada na zona urbana do município de Boa Vista, capital do estado de Roraima, na região Norte do Brasil. Inserida na bacia hidrográfica do rio Branco, esta sub-bacia representa um importante componente do sistema de drenagem local, sendo responsável pelo escoamento superficial em áreas densamente urbanizadas. A cidade de Boa Vista tem passado por um acelerado processo de crescimento populacional e expansão territorial, o que tem gerado intensa pressão sobre os recursos hídricos urbanos e

provocado a substituição progressiva da vegetação nativa por áreas impermeabilizadas (Santos *et al.*, 2022; Nascimento *et al.*, 2021). Como em outros centros urbanos amazônicos, a ocupação desordenada de áreas de várzea e margens de igarapés tem contribuído para o aumento da vulnerabilidade socioambiental, sobretudo pela intensificação dos eventos de alagamento e degradação da qualidade da água (Ferreira *et al.*, 2019; Cunha *et al.*, 2018).

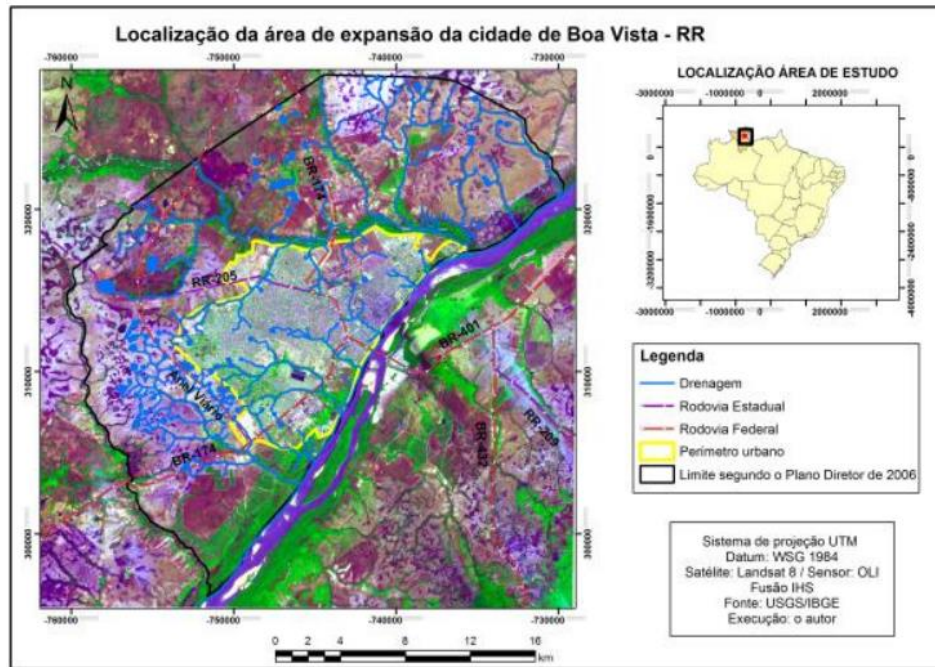
A cidade de Boa Vista apresenta clima do tipo Aw segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por uma estação seca bem definida (de dezembro a março) e outra chuvosa (de abril a agosto), com temperaturas médias anuais superiores a 26 °C e precipitação média anual em torno de 1.800 mm (Alvares *et al.*, 2013). Esse padrão climático influencia diretamente o regime hidrológico dos igarapés urbanos, aumentando os riscos de alagamentos durante os meses de maior precipitação, especialmente em áreas com altos índices de impermeabilização do solo (Ferreira *et al.*, 2019).

O processo de urbanização acelerada em Boa Vista, especialmente a partir da década de 1990, tem causado significativas alterações na paisagem natural, com destaque para o avanço da malha urbana sobre áreas de várzea e nascentes. Estudos realizados por Nascimento *et al.* (2021) demonstram que o aumento da cobertura urbana sem o devido planejamento resulta em impactos negativos sobre os corpos hídricos, como assoreamento, poluição difusa e redução da capacidade de infiltração do solo. A sub-bacia do Igarapé Grande tem sido uma das mais afetadas por esses processos, tendo sua área progressivamente ocupada por loteamentos residenciais formais e informais.

Do ponto de vista ambiental, a sub-bacia possui trechos de vegetação ciliar ainda preservada, embora fragilizados pela pressão antrópica. A presença de Áreas de Preservação Permanente (APPs), como margens de cursos d'água e nascentes, é notória, mas frequentemente desrespeitada pela expansão urbana. Nesse contexto, torna-se essencial compreender a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura do solo na região, de modo a subsidiar ações de ordenamento territorial e conservação ambiental, conforme preconizado pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

A escolha da sub-bacia do Igarapé Grande como objeto deste estudo justifica-se, portanto, tanto pela sua relevância ecológica e hidrológica, quanto pela vulnerabilidade crescente frente às transformações espaciais impostas pelo crescimento urbano. A investigação das alterações de uso e ocupação do solo, aliada à modelagem da tendência de urbanização, contribui para o diagnóstico ambiental da região e para a formulação de estratégias de mitigação de impactos.

Figura 2 – Município de Estudo.



Fonte: Araujo, 2016.

## 2.2 Obtenção e preparação dos dados

A obtenção dos dados envolveu o uso de diferentes fontes públicas. O Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 metros, foi adquirido a partir da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponível na plataforma Earth Explorer do United States Geological Survey (USGS). As informações sobre uso e cobertura da terra foram obtidas por meio da Coleção 9 do Projeto MapBiomas, que fornece séries temporais anuais de dados categorizados por classes de uso do solo, cobrindo o período de 1983 a 2023. Também foram utilizados dados vetoriais auxiliares, como os limites municipais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para contextualização e recorte espacial.

## 2.3 Delimitação da sub-bacia hidrográfica

A delimitação da sub-bacia hidrográfica foi realizada no ambiente do software QGIS, integrando o módulo GRASS GIS. Primeiramente, aplicou-se o algoritmo *r.watershed*, responsável por gerar a direção do fluxo e a rede de drenagem com base na topografia do MDE. Em seguida, utilizou-se o algoritmo *r.water.outlet*, ao qual foram atribuídas coordenadas geográficas correspondentes ao ponto de exutório do Igarapé Grande. Este procedimento resultou na extração automática da área de contribuição hidrológica da sub-bacia em estudo. Após a delimitação, a bacia foi convertida para o formato vetorial, e passou por correções topológicas para garantir consistência espacial nos procedimentos subsequentes. A rede de drenagem gerada foi validada por inspeção visual e comparada com imagens de satélite do Google Earth e a base hidrográfica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

## 2.4 Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo

A análise do uso e ocupação do solo baseou-se nos dados do MapBiomas. As imagens raster foram recortadas segundo o limite da sub-bacia e reprojetaadas para o sistema de coordenadas UTM, fuso 20N, datum SIRGAS 2000. As classes foram reagrupadas em categorias temáticas como vegetação nativa, áreas urbanizadas, corpos hídricos, pastagens e agricultura, com o objetivo de facilitar a interpretação dos processos de transformação da paisagem. Para fins comparativos, foram selecionados quatro marcos temporais: os anos de 1993, 2003, 2013 e 2023. As áreas ocupadas por cada classe foram calculadas em hectares por meio das funções disponíveis no GEE (*Google Earth Engine*), posteriormente os arquivos GeoTIFFs foram plotados utilizando o QGIS, permitindo a construção de séries temporais da dinâmica do uso do solo.

## 2.5 Projeção da área urbanizada com regressão linear simples

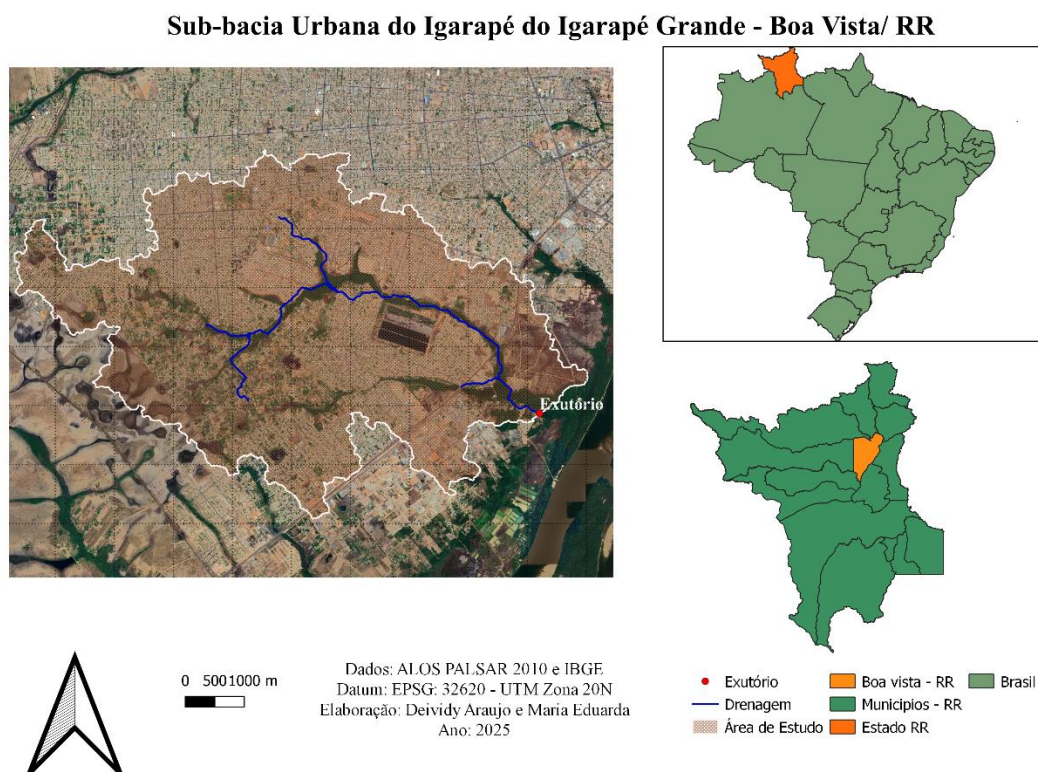
Com vistas à avaliação prospectiva do crescimento urbano, aplicou-se uma análise estatística baseada em regressão linear simples. Os dados anuais da área classificada como urbanizada foram organizados em planilha eletrônica, e, a partir disso, ajustou-se uma reta de regressão que relaciona a variável temporal (ano) com a área ocupada por expansão urbana (em hectares). A equação gerada permitiu a projeção da tendência de crescimento para os anos de 2030 e 2040, fornecendo subsídios para a formulação de cenários futuros. Essa abordagem quantitativa, embora simples, é amplamente utilizada para estimativas de tendência em estudos ambientais e urbanos, e oferece uma base sólida para análises exploratórias e preventivas em planejamento territorial.

Com esse conjunto metodológico, buscou-se não apenas delimitar com precisão a sub-bacia do Igarapé Grande, mas também compreender de maneira integrada as mudanças no uso da terra ao longo do tempo e suas implicações para a gestão ambiental e urbana da região.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a delimitação espacial da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Grande, obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM com resolução de 3

0 metros, processado no software QGIS por meio dos algoritmos *r.watershed* e *r.wateroutlet* do GRASS GIS. A delimitação considerou os divisores topográficos naturais, sendo esta uma etapa essencial para análises hidrológicas e de planejamento ambiental (Tucci, 2017). No entanto, é importante destacar as limitações do MDE-SRTM, especialmente em regiões de relevo plano como as da Amazônia, onde a baixa declividade pode dificultar a definição precisa da rede de drenagem e gerar incertezas na delimitação dos divisores de água (Frey; Sánchez, 2020; Santos *et al.*, 2022). A partir da delimitação, foram calculadas as métricas morfométricas da sub-bacia, como área (32,007 km<sup>2</sup>) e perímetro (52,705 km).

**Figura 3** – Localização e delimitação da sub-bacia do Igarapé Grande.

**Fonte:** Autores, 2025.

A análise da variação do uso e cobertura do solo da sub-bacia do Igarapé Grande foi realizada com base nos dados da Coleção 9 do MapBiomas, para os anos de 1993, 2003, 2013 e 2023 (Figura 3 e Quadro 1). As classes de uso foram extraídas a partir da plataforma do projeto MapBiomas, que disponibiliza mapeamentos anuais de cobertura e uso da terra do Brasil com base em imagens de sensoriamento remoto processadas com aprendizado de máquina (MAPBIOMAS, 2024). Os resultados revelam mudanças significativas ao longo das três décadas analisadas, refletindo o impacto da urbanização e das transformações antrópicas sobre a dinâmica da paisagem.

A validação da bacia delimitada foi realizada por inspeção visual e comparação com cartas topográficas e imagens de satélite, o que confere respaldo qualitativo à abordagem. Contudo, a ausência de uma análise quantitativa das incertezas — como cálculo de desvios altimétricos entre o MDE e pontos de controle, ou a comparação com redes de drenagem hidrograficamente consistidas — representa uma limitação a ser considerada (Oliveira *et al.*, 2021).

A área urbanizada aumentou de 21,50 km<sup>2</sup> em 1993 para 24,68 km<sup>2</sup> em 2023, consolidando-se como a classe predominante na sub-bacia. Essa expansão reflete o crescimento urbano de Boa Vista, com a incorporação de novas áreas ao tecido urbano e a substituição de coberturas naturais. Paralelamente, observou-se uma redução significativa da classe Formação Florestal, que passou de 0,65 km<sup>2</sup> em 1993 para 0,24 km<sup>2</sup> em 2023, indicando uma tendência de degradação e supressão da vegetação nativa.

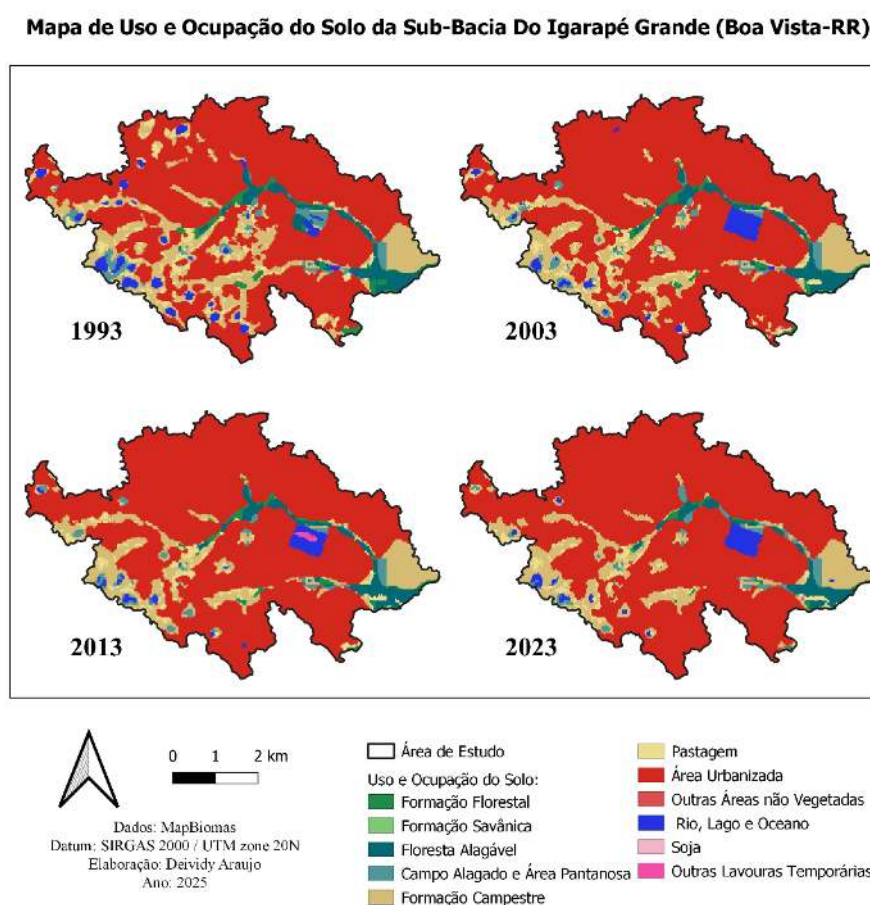
A Floresta Alagável, importante para a regulação hídrica local, também apresentou decréscimo ao longo do período, caindo de 1,21 km<sup>2</sup> para 0,89 km<sup>2</sup>, enquanto áreas como Campo Alagado e Formação Campestre oscilaram ao longo das décadas, sugerindo pressões variáveis sobre os ambientes úmidos e campestres. A classe

Pastagem, por sua vez, apresentou uma redução contínua, de 1,73 km<sup>2</sup> para 0,79 km<sup>2</sup>, possivelmente sendo convertida em uso urbano ou áreas não vegetadas.

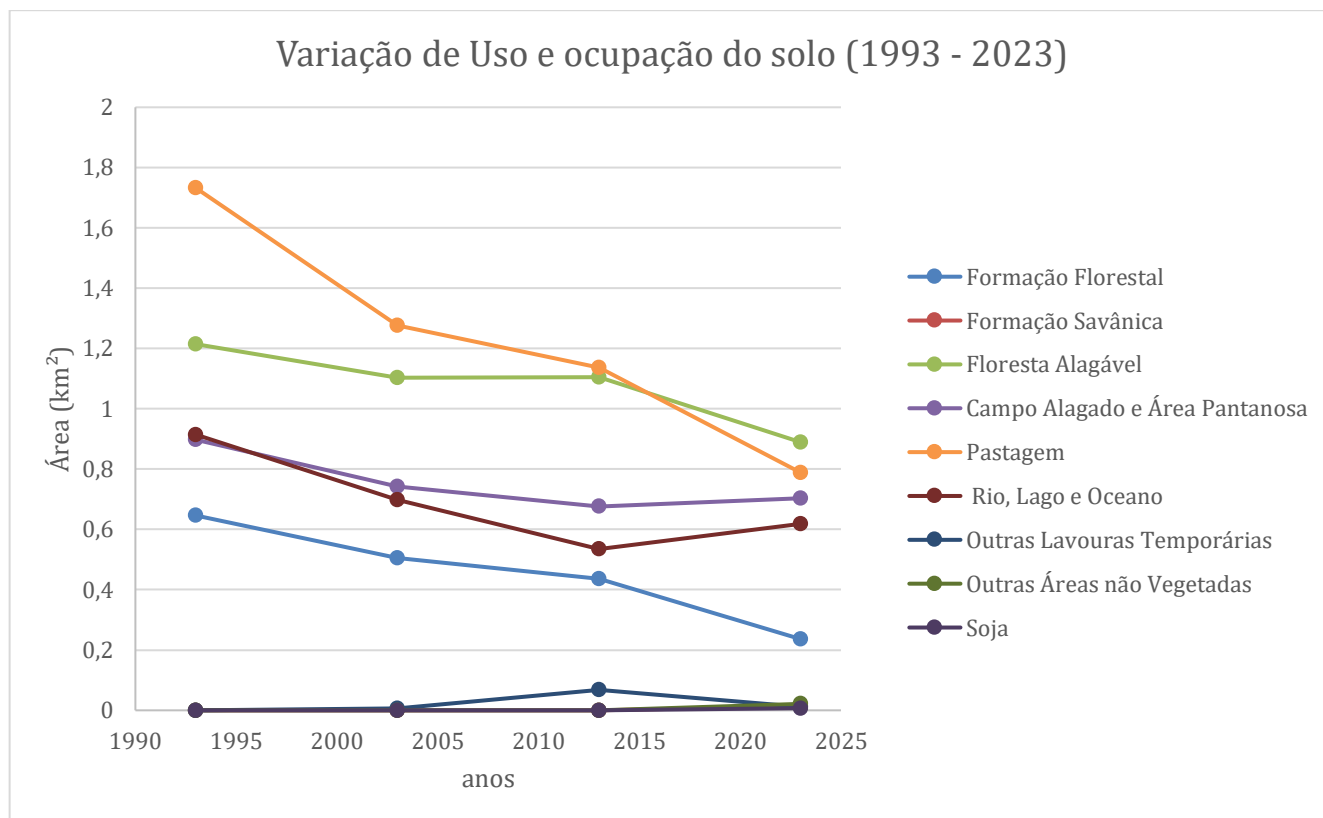
Outras categorias, como Soja, Outras Lavouras Temporárias e Outras Áreas Não Vegetadas, aparecem em pequena proporção apenas em 2023, indicando novos padrões de ocupação mais recentes, mas ainda incipientes. A Formação Savânica, ausente até 2013, aparece com 0,013 km<sup>2</sup> em 2023, o que pode estar relacionado a erros de classificação ou início de transições ecológicas.

Essas mudanças demonstram como a ocupação da sub-bacia tem sido direcionada pela urbanização, com impacto direto sobre os ecossistemas naturais. As transformações identificadas corroboram estudos que apontam a expansão urbana como um dos principais vetores de alteração das bacias hidrográficas em ambientes tropicais urbanos (Oliveira *et al.*, 2021; Tucci, 2017).

**Figura 4** – Variação do Uso e Ocupação do Solo da sub-bacia do Igarapé Grande.



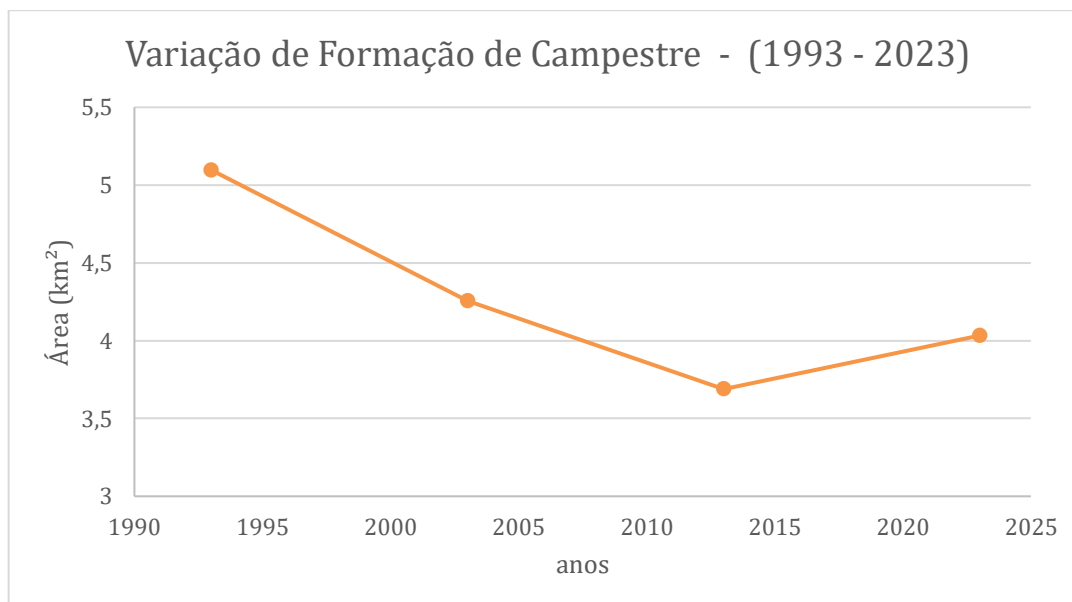
Fonte: Autores, 2025.

**Figura 5** – Gráfico variação de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Igarapé Grande.

**Fonte:** Autores, 2025.

A classe Formação Campestre (Figura 6) apresentou uma variação significativa ao longo do período analisado, oscilando entre redução e recuperação parcial de área. Em 1993, essa cobertura ocupava 5,10 km<sup>2</sup> da sub-bacia do Igarapé Grande, representando uma das principais formações naturais da região. Em 2003, verificou-se uma redução para 4,26 km<sup>2</sup>, tendência que se intensificou até 2013, quando a área alcançou o valor mínimo de 3,69 km<sup>2</sup>. No entanto, em 2023, houve um leve aumento para 4,03 km<sup>2</sup>, indicando uma possível recomposição de áreas abertas ou menor pressão antrópica sobre este tipo de vegetação.

A flutuação dos valores pode estar associada a processos sazonais, mudanças no uso agropecuário, ações de conservação ou reclassificações pontuais do mapeamento por sensoriamento remoto. Esse comportamento evidencia a instabilidade das áreas campestres diante das transformações territoriais, exigindo atenção no planejamento ambiental da bacia, especialmente quanto à manutenção dos ecossistemas naturais abertos que atuam como zonas de amortecimento hídrico e habitats para diversas espécies (MMA, 2020; MAPBIOMAS, 2024).

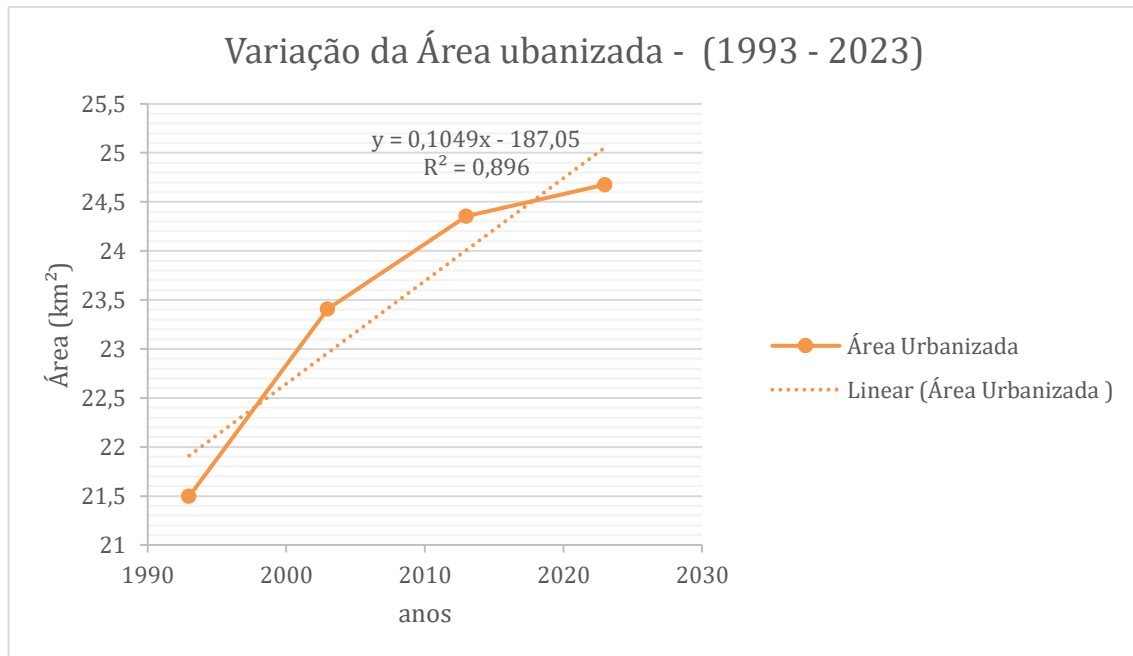
**Figura 6** – Gráfico variação de formação Campestre.

Fonte: Autores, 2025.

A classe Área Urbanizada apresentou uma trajetória de crescimento constante ao longo do período de análise, refletindo o avanço da ocupação antrópica na sub-bacia do Igarapé Grande. Em 1993, essa classe ocupava 21,50 km<sup>2</sup>, aumentando para 23,41 km<sup>2</sup> em 2003, 24,35 km<sup>2</sup> em 2013, e atingindo 24,68 km<sup>2</sup> em 2023 (Figura 5). Para avaliar essa tendência de crescimento e projetar cenários futuros, foi aplicada uma regressão linear simples aos dados da série temporal, obtendo-se a equação da reta  $y = 0,1049x - 187,05$ , com um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,896$ , indicando forte correlação entre os anos e a expansão da área urbanizada. Essa modelagem permitiu projetar a continuidade do crescimento urbano na sub-bacia. Aplicando-se a equação para os anos de 2030, 2040 e 2050, estimam-se áreas urbanizadas de, respectivamente, 25,41 km<sup>2</sup>, 26,46 km<sup>2</sup> e 27,51 km<sup>2</sup> (Figura 7).

Essas projeções reforçam a importância do monitoramento e planejamento territorial, uma vez que o crescimento urbano está diretamente relacionado ao aumento da impermeabilização do solo e à intensificação dos impactos hidrológicos, como aumento do escoamento superficial, maior risco de inundações e degradação da qualidade ambiental (Tucci, 2017; Oliveira *et al.*, 2021). A regressão linear simples, portanto, além de confirmar a tendência histórica, fornece uma base técnica para prever o comportamento futuro da urbanização, sendo útil para subsidiar políticas públicas de gestão sustentável do solo e infraestrutura urbana.

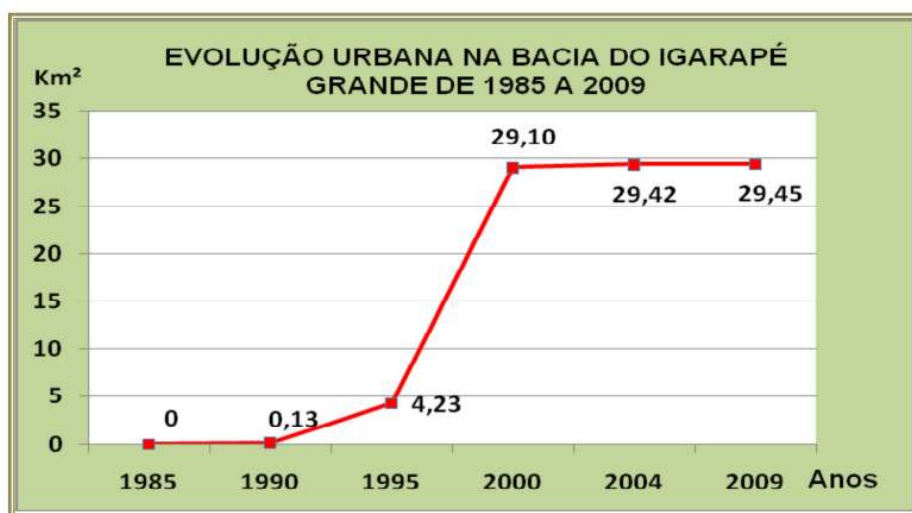
Figura 7 – Gráfico da variação da área urbanizada.



Fonte: Autores, 2025.

Para fins de validação dos dados obtidos por meio da plataforma MapBiomas, foi realizada uma análise comparativa com os dados apresentados no trabalho de Rosa da Silva (2010), o qual investigou a variação espaço-temporal da expansão urbana e da rede de drenagem da Bacia do Igarapé Grande, com base em imagens de sensoriamento remoto de alta resolução. De acordo com a autora, a área urbanizada da bacia foi estimada em 4,23 km<sup>2</sup> no ano de 1995, passando para 29,10 km<sup>2</sup> em 2000, 29,42 km<sup>2</sup> em 2004 e 29,45 km<sup>2</sup> em 2009 (Figura 8). Esses dados revelam uma transformação urbana bastante expressiva no intervalo de apenas cinco anos (1995–2000), seguida de uma estabilização do crescimento nos anos subsequentes.

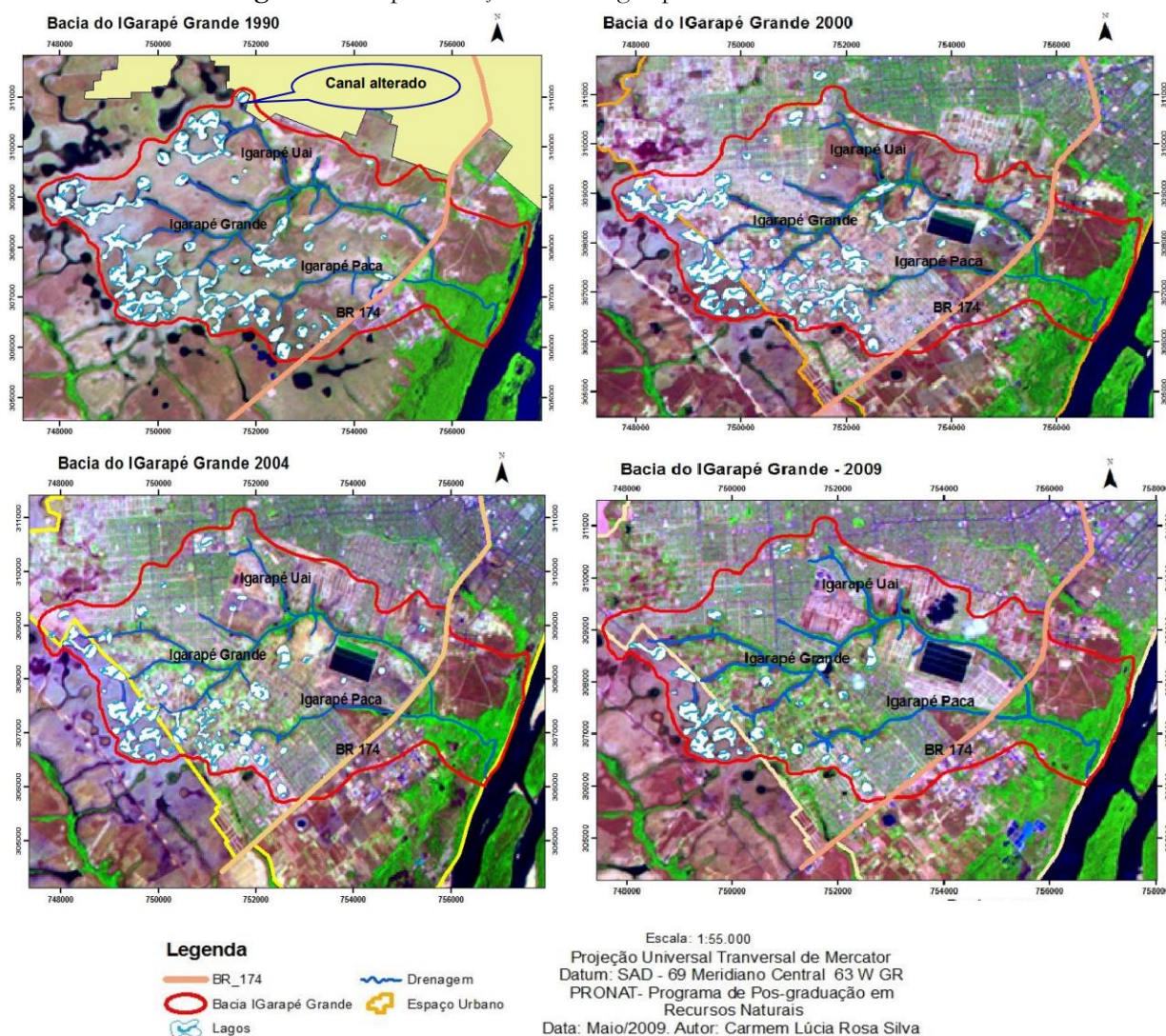
Figura 8 – Gráfico evolução urbana Igarapé Grande Boa Vista – RR.



Fonte: ROSA DA SILVA, 2010.

Além disso, a autora apresentou mapas temáticos representando a evolução da urbanização ao longo do período analisado (Figura 9), o que contribui visualmente para a compreensão da dinâmica territorial da área de estudo.

**Figura 9** – Mapa evolução urbana Igarapé Grande Boa Vista – RR.



**Fonte:** ROSA DA SILVA, 2010.

Comparando, os dados extraídos do MapBiomias apontam uma evolução mais gradativa do processo de urbanização, o que pode ser atribuído à metodologia automatizada de classificação utilizada na plataforma, baseada em séries temporais e algoritmos de aprendizado de máquina, que minimizam erros pontuais e permitem maior consistência na análise espaço-temporal (MAPBIOMAS, 2023). Essa abordagem tende a suavizar variações abruptas resultantes de ruídos em imagens isoladas, o que torna os dados do MapBiomias potencialmente mais confiáveis para estudos longitudinais, sobretudo em escalas regionais (Souza *et al.*, 2020).

Ainda que o estudo de Rosa da Silva (2010) utilize dados de maior resolução espacial, sua metodologia de classificação pode estar sujeita a maior subjetividade, considerando a menor padronização nos critérios de identificação do uso do solo ao longo do tempo. Portanto, a comparação entre as duas fontes de dados destaca a importância de utilizar métodos complementares para a avaliação do uso e ocupação do solo, sendo o MapBiomias uma ferramenta robusta e atualizada para esse tipo de análise em larga escala.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como finalidade principal a delimitação da sub-bacia do Igarapé Grande, utilizando os algoritmos Watershed e Wateroutlet no ambiente SIG do QGIS, bem como a caracterização da variação espaço-temporal do uso e ocupação do solo por meio da base de dados do MapBiomias – Coleção 9, referente aos anos de 1993, 2003, 2013 e 2023. A partir da delimitação, obteve-se uma área de 32,007 km<sup>2</sup> e um perímetro de 52,705 km, permitindo a análise espacial detalhada da bacia e de suas dinâmicas antrópicas e naturais.

Os resultados evidenciaram que a sub-bacia vem sofrendo transformações significativas em sua cobertura e uso do solo, com destaque para o avanço da classe Área Urbanizada, que aumentou de 21,50 km<sup>2</sup> em 1993 para 24,68 km<sup>2</sup> em 2023. A partir da aplicação de regressão linear simples, com equação  $y = 0,1049x - 187,05$  e  $R^2 = 0,896$ , estimaram-se cenários futuros que apontam para a continuidade da expansão urbana, com projeções de 25,41 km<sup>2</sup> em 2030, 26,46 km<sup>2</sup> em 2040 e 27,51 km<sup>2</sup> em 2050. Esses dados indicam uma tendência de crescimento que, caso não seja gerida de forma sustentável, poderá agravar problemas associados ao aumento da impermeabilização do solo, como o crescimento do escoamento superficial, maior risco de enchentes e degradação da qualidade da água e do ambiente (Tucci, 2017; Lopes *et al.*, 2020).

Além da urbanização, a classe Formação Campestre também apresentou alterações importantes, variando de 5,10 km<sup>2</sup> em 1993 para 4,03 km<sup>2</sup> em 2023, refletindo possíveis processos de substituição por áreas de pastagem, agricultura e expansão urbana. Tais transformações são indicativas das pressões exercidas pelas atividades antrópicas sobre os ecossistemas locais, conforme destacado por Souza *et al.* (2021), que ressaltam a importância do monitoramento contínuo do uso do solo para a conservação ambiental.

A análise da variação espaço-temporal do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Igarapé Grande, com foco no processo de urbanização, evidenciou a importância da integração entre diferentes fontes e metodologias para uma compreensão mais abrangente da dinâmica territorial. A utilização dos dados do MapBiomias permitiu identificar, de forma consistente e contínua, a evolução da urbanização ao longo das últimas décadas, destacando um crescimento gradual e progressivo da malha urbana.

Por outro lado, a comparação com o trabalho de Rosa da Silva (2010) revelou um aumento abrupto da área urbanizada entre 1995 e 2000, seguido de uma relativa estabilização nos anos posteriores. Além das estimativas numéricas, o estudo também apresentou mapas temáticos que ilustram a expansão urbana, contribuindo para uma análise visual complementar. As divergências entre as fontes ressaltam a relevância da metodologia empregada em cada abordagem. Enquanto o MapBiomias utiliza classificações padronizadas e algoritmos de aprendizado de máquina para minimizar erros e garantir maior reprodutibilidade dos dados, estudos baseados em classificação manual ou semiautomática podem estar mais suscetíveis a interpretações subjetivas e limitações de escala temporal.

Assim, conclui-se que, embora ambas as abordagens sejam válidas e complementares, o uso de ferramentas como o MapBiomias se mostra mais adequado para análises de longo prazo e em escala regional, permitindo uma maior confiabilidade nas inferências sobre o processo de urbanização. A validação cruzada com estudos locais, como o de Rosa da Silva (2010), enriquece a análise e contribui para uma visão mais crítica e fundamentada da realidade ambiental e urbana da bacia em estudo.

A aplicação de geotecnologias e dados de sensoriamento remoto demonstrou-se essencial para a compreensão da dinâmica territorial da bacia e para a produção de subsídios à gestão ambiental e urbana. A integração entre SIG e dados de séries temporais é destacada na literatura como ferramenta eficaz para o planejamento territorial e para a antecipação de cenários futuros (Câmara *et al.*, 2020; Batista *et al.*, 2022). Assim, os achados deste trabalho reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas ao controle da expansão urbana desordenada e à proteção das áreas naturais remanescentes, visando garantir a sustentabilidade hidrológica da bacia e a qualidade de vida das populações que dela dependem.

### Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

### Contribuições dos autores

Deividy Kaik de Lima Araujo: Responsável pela concepção do estudo, delimitação da sub-bacia com os algoritmos Watershed e Wateroutlet no QGIS, estruturação metodológica, análise dos resultados e redação principal do manuscrito. Maria Eduarda dos Santos Viana: Atuou na organização e processamento dos dados de uso e ocupação do solo obtidos do MapBiomas – Coleção 9, bem como na elaboração de mapas temáticos e apoio na análise espaço-temporal. Manoel Moises Ferreira de Queiroz: Contribuiu na validação dos procedimentos metodológicos, revisão técnica da análise de regressão linear e apoio na interpretação dos impactos ambientais decorrentes da urbanização. Caio Anderson da Silva de Almeida: Participou da discussão dos resultados, análise crítica das transformações territoriais e revisão final do texto, com foco na gestão ambiental integrada e implicações para o regime hidrológico.

### REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A. *et al.* (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711–728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Batista, G. E. A. P. A., Monteiro, A. M. V., Ferreira, K. R. *et al.* (2022). *Introdução à Ciência de Dados: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Editora da USP.
- Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.
- Câmara, G., Queiroz, G. R., & Vinhas, L. (2020). Geoinformação para políticas públicas: ciência aberta, interoperabilidade e dados geoespaciais. *Revista Brasileira de Cartografia*, 72 (92), 287–308.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Cunha, A. C. da, Pereira, D. S., & Oliveira, L. H. de. (2018). Impactos ambientais nos igarapés urbanos da Amazônia: diagnóstico e estratégias de mitigação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(6), 2162–2177. DOI: 10.26848/rbgf.v11.6.p2162-2177.

- Ferreira, M. P. A. *et al.* (2019). Avaliação dos impactos da urbanização sobre igarapés urbanos em áreas tropicais: o caso de Boa Vista-RR. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24, e7. DOI: 10.1590/2318-0331.241920180100.
- Frey, H., & Sánchez, A. M. (2020). Accuracy assessment of SRTM-derived river networks in flat terrain regions: Implications for hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 586, 124883. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124883>
- Lopes, L. M., Ribeiro, M. C., Armenteras, D. (2020). Urban growth and hydrological risk: A global overview of the impact of urban expansion on flooding. *Sustainability*, 12 (3), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12030985>
- MAPBIOMAS. *Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra no Brasil*. Projeto MapBiomass: [site institucional]. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 maio 2025.
- Miranda, T. C. B. *et al.* Impactos da urbanização sobre os recursos hídricos: uma abordagem hidrológica e ambiental. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27(1), 1–15, 2022. DOI: 10.1590/2318-0331.272220210133
- Mota, C. A. *et al.* Mudanças no uso da terra e impactos ambientais em bacias hidrográficas: uma revisão sistemática. *Revista de Geociências do Nordeste*, 6(2), 1–18, 2020.
- Nascimento, L. F., Sousa, F. R., & Vasconcelos, F. S. (2021). Expansão urbana e impactos ambientais nos igarapés de Boa Vista-RR. *Revista Geonorte*, 12(42), 98–115. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/9896>.
- Neto, R. C. *et al.* (2021). Delimitação automática de bacias hidrográficas com uso de geotecnologias em software livre. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1180–1195. DOI: 10.26848/rbgf.v14.3.p1180-1195
- Oliveira, A. D., Lima, J. S., & Freitas, A. F. (2021). Análise multitemporal da cobertura do solo em bacias urbanas utilizando o MapBiomass. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1625–1640. DOI: 10.26848/rbgf.v14.3.p1625-1640.
- Oliveira, A. H. *et al.* (2021). Análise da incerteza na delimitação de bacias hidrográficas utilizando diferentes resoluções de MDE e técnicas de modelagem hidrológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 26, e5. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262020200112>
- Oliveira, L. H. R. de *et al.* (2021). Dinâmica do uso e cobertura da terra e seus efeitos sobre os recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 26, e41. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh>
- Santos, D. M. dos, Coelho Netto, A. L., Oliveira, P. T. S. (2022). Avaliação das limitações do modelo SRTM em áreas de baixa declividade para estudos hidrológicos na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23 (2), 274–292.
- Santos, R. A., Moura, G. B. A., Gomes, A. F. (2022). Análise da expansão urbana e seus impactos nas áreas de drenagem urbana em Boa Vista-RR. *Revista Ciência Geográfica*, 36(2), 55–74, 2022. Disponível em: <https://www.cienciageografica.com.br/2022/boa-vista/>.
- Silva, D. D., Montenegro, S. M. G. L. (2021). *Modelagem hidrológica: fundamentos e aplicações*. Recife: Editora UFPE.
- Souza, F. R., Oliveira, L. H. R., & Santos, J. F. (2021). Análise multitemporal do uso da terra em bacia hidrográfica urbana utilizando MapBiomass. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(2), 574–589.
- Tucci, C. E. M. (2017). *Águas urbanas*. Porto Alegre: ABRH.

---

Tucci, C. E. M. (2017). *Gerenciamento de recursos hídricos*. 4. ed. Porto Alegre: ABRH.

Tucci, C. E. M. (2017). *Gestão da drenagem urbana*. 3. ed. Porto Alegre: ABRH.

Tucci, C. E. M. (2017). *Gestão de recursos hídricos e bacias hidrográficas*. 5. ed. Porto Alegre: ABRHidro.