

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE PLANO DE
SEGURANÇA DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE APOIO À
GOVERNANÇA HÍDRICA EM PARAGOMINAS (PA)**

ALINE SOUZA SARDINHA

São Carlos
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE PLANO DE
SEGURANÇA DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE APOIO À
GOVERNANÇA HÍDRICA EM PARAGOMINAS (PA)**

ALINE SOUZA SARDINHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Urbana.

Orientação: Profa. Dra Katia Sakihama Ventura

São Carlos
2026

Sardinha, Aline Souza

Diretrizes para a implementação de plano de segurança da água como ferramenta de apoio à governança hídrica em Paragominas (PA) / Aline Souza Sardinha -- 2026. 134f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Katia Sakihama Ventura

Banca Examinadora: Aline Maria Meiguins de Lima, Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, Edmir dos Santos Jesus, Ricardo Franci Gonçalves

Bibliografia

1. Segurança hídrica. 2. Plano de segurança da água. 3. Resiliência hídrica urbana. I. Sardinha, Aline Souza. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado em Engenharia Urbana da candidata Aline Souza Sardinha, realizada em 09/02/2026.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a). Katia Sakihama Ventura (UFSCar)

Prof(a). Dr(a). Aline Maria Meiguins de Lima (UFPA)

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira (UFSCar)

Prof. Dr. Edmir dos Santos Jesus (ITV)

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves (UFES)

DEDICATÓRIA

À memória de minha mãe, *Francisca Marilene Souza Sardinha*, que, junto com meu pai, foi minha maior incentivadora nos estudos e exemplo de força e dedicação como mulher. Seu amor permanece vivo em mim, assim como a lembrança do seu canto e do seu sorriso junto à máquina de costura. Sou profundamente grata por cada momento que compartilhamos. Sua ausência é imensamente sentida. Mãe, eu te amo todos os dias!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos, que de alguma forma, me auxiliaram neste período:

- A Deus, pelo dom da vida; a Nosso Senhor Jesus Cristo, a Nossa Senhora Aparecida e ao meu anjo da guarda, por me manterem firme mesmo nos momentos mais desafiadores e tristes da minha vida;
- Aos responsáveis por minha formação moral, os amores da minha vida, meus pais Raimundo Sardinha e Francisca Marilene Souza Sardinha (*in memoriam*), por sempre me apoiarem e por me mostrarem que o maior bem do mundo é a família;
- Aos meus irmãos (Antônio, José, Keila, Kátia, Alex, Vânia e Vanessa), que sempre estiveram ao meu lado, e a todos os meus sobrinhos: Karol, Thays, Lukas, Beatriz, Glauciane, Samuel — em especial as crianças Sophie, Valentina, Isabela e Gabriela — cujas visitas barulhentas e cheias de alegria iluminavam meus dias sempre que eu estava em Belém. Ao novo membro da família, o pequeno Miguel, minha gratidão por trazer ainda mais luz e doçura ao nosso mundo;
- À Universidade do Estado do Pará, que, por meio do Programa de Capacitação Docente da PROPESP, concedeu a bolsa de estudos;
- À Prof^a. Dra. Katia Sakihama Ventura pela orientação, pelas conversas e pelas palavras de apoio nos momentos de dificuldade;
- Ao PPGEU e a todos os coordenadores e professores que fizeram parte da minha formação no doutorado;
- À Agência de Saneamento de Paragominas (SANEPAR), por abrir as portas para que minha pesquisa pudesse ser realizada;
- Aos funcionários da SANEPAR – Superintendente Operacional Rayssa Magalhães, o Gerente de Controle Ambiental Raul Leite e o Operador da ETA Sandro Andrade – por todo o auxílio prestado para que este estudo fosse conduzido;
- Aos professores Dra. Aline Lima, Dr. Bernardo Nascimento, Dr. Edmir Jesus e Dr. Ricardo Franci por aceitarem o convite de participar da banca examinadora;
- Às colegas do grupo de pesquisa da Pós-Graduação, Maria Eugênia Alvares, Laura Pestana, Júlia Protássio e Mariana Morais pela amizade, pela parceria e pelas risadas que compartilhamos;
- À minha prima e vizinha Micheline Corrêa por tornar a estadia em São Paulo mais leve e alegre;
- Ao meu amor André Rodrigues Monteiro, obrigada pela parceria, pelo apoio e por fazer meus dias mais felizes.

E a todos que de alguma forma, contribuíram, meu muito obrigada!

“Faça o seu pouco de bem onde você está; são esses pequenos pedaços de bem juntos que inundam o mundo.”

- Desmond Tutu

SARDINHA, A.S. Diretrizes para a implementação de Plano de Segurança da Água como ferramenta de apoio à governança hídrica em Paragominas (PA)

RESUMO

A segurança hídrica em municípios amazônicos tem sido progressivamente comprometida por pressões antrópicas, mudanças no uso e cobertura do solo, déficits de saneamento e limitações na capacidade adaptativa frente às mudanças climáticas. Esta tese propôs diretrizes para a implementação de Plano de Segurança da Água (PSA), a fim de que seja usada como ferramenta de apoio à governança hídrica no município de Paragominas, no estado do Pará. A pesquisa adotou abordagem quali-quantitativa, combinando análise geoespacial multitemporal, observações de campo, aplicação de matrizes de risco segundo a ABNT NBR 17.080/2023 e diretrizes da Organização Mundial da Saúde, além da avaliação de indicadores quantitativos de resiliência hídrica adaptados do *City Water Resilience Framework* (CWRF). Na escala territorial, realizou-se a análise do uso e cobertura do solo na microbacia do rio Uraim (1985, 2000, 2015 e 2024), associada a visitas de campo e à priorização de eventos perigosos. Os resultados evidenciaram intensificação de usos antrópicos, supressão de vegetação ripária e presença de fontes difusas de poluição, sendo hierarquizados como riscos elevados a descarga de esgoto doméstico sem tratamento, a ocupação urbana próxima ao curso d'água e a disposição inadequada de dejetos em áreas de pastagem. Na escala do sistema de abastecimento, foi proposta a implantação de um Plano de Segurança da Água (PSA) na estação de tratamento de água Uraim, identificando-se 23 eventos perigosos ao longo do manancial, captação de água bruta e tratamento, dos quais oito foram classificados como risco alto ou muito alto. Destacaram-se vulnerabilidades críticas tais quais o monitoramento irregular da água bruta e tratada, lançamentos clandestinos de esgoto à montante da captação, gestão inadequada do lodo da ETA e ausência de protocolos padronizados de contingência. Na escala urbana, a avaliação da resiliência hídrica de Paragominas, a partir de 16 indicadores distribuídos em quatro dimensões, confirmou um padrão de resiliência hídrica assimétrica. Observou-se elevado desempenho em aspectos institucionais e normativos, contrastando com déficits operacionais estruturais, especialmente na universalização do esgotamento sanitário, na infraestrutura verde-azul e na ausência do Plano de Segurança da Água. Esse desequilíbrio compromete o atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6, 11 e 13, evidenciando uma resiliência predominantemente formal, não convertida em melhorias efetivas na segurança da água. Conclui-se que a integração entre geotecnologias, gestão preventiva de riscos e avaliação

sistêmica da resiliência hídrica constitui abordagem robusta e replicável para o planejamento e a governança da água em municípios amazônicos. Os resultados reforçam a necessidade de articulação entre capacidade institucional existente e investimentos territoriais e operacionais, de modo a reduzir vulnerabilidades, fortalecer a segurança hídrica e ampliar a adaptação às mudanças climáticas em contextos urbanos sob crescente pressão antrópica.

Palavras-chaves: Segurança Hídrica; Plano de segurança da água; Resiliência hídrica urbana; Gestão de Riscos; Amazônia Oriental.

SARDINHA, A.S. Guidelines for the Implementation of a Water Safety Plan as a Tool to Support Water Governance in Paragominas (PA)

ABSTRACT

Water security in Amazonian municipalities has been progressively compromised by anthropogenic pressures, changes in land use and land cover, sanitation deficits, and limitations in adaptive capacity in the face of climate change. This doctoral thesis proposes guidelines for the implementation of a Water Safety Plan (WSP) as a support tool for water governance in the municipality of Paragominas, in the State of Pará, Brazil. The research adopted a mixed-methods (qualitative–quantitative) approach, combining multitemporal geospatial analysis, field observations, the application of risk matrices in accordance with ABNT NBR 17.080:2023 and World Health Organization guidelines, as well as the assessment of quantitative water resilience indicators adapted from the City Water Resilience Framework (CWRF). At the territorial scale, land use and land cover were analysed in the Uraim River microbasin (1985, 2000, 2015, and 2024), in conjunction with field visits and the prioritisation of hazardous events. The results revealed an intensification of anthropogenic land uses, suppression of riparian vegetation, and the presence of diffuse pollution sources. High-risk hazards were identified and ranked, including the discharge of untreated domestic sewage, urban occupation near the watercourse, and the inappropriate disposal of animal waste in pasture areas. At the water supply system scale, the implementation of a Water Safety Plan was proposed for the Uraim water treatment plant, identifying 23 hazardous events along the source, raw water abstraction, and treatment stages, eight of which were classified as high or very high risk. Critical vulnerabilities were identified, including irregular monitoring of raw and treated water,

illicit sewage discharges upstream of the abstraction point, inadequate management of water treatment plant sludge, and the absence of standardised contingency protocols. At the urban scale, the assessment of water resilience in Paragominas, based on 16 indicators distributed across four dimensions, confirmed a pattern of asymmetric water resilience. High performance in institutional and regulatory aspects contrasted with structural and operational deficits, particularly regarding the universalisation of sewerage services, green–blue infrastructure, and the absence of a Water Safety Plan. This imbalance compromises progress towards Sustainable Development Goals 6, 11, and 13, indicating a predominantly formal form of resilience that has not been translated into effective improvements in water security. It is concluded that the integration of geotechnologies, preventive risk management, and systemic assessment of water resilience constitutes a robust and replicable approach to water planning and governance in Amazonian municipalities. The findings underscore the need to align existing institutional capacity with territorial and operational investments in order to reduce vulnerabilities, strengthen water security, and enhance climate change adaptation in urban contexts subject to increasing anthropogenic pressure.

Keywords: Water Security; Water Safety Plan; Urban Water Resilience; Risk Management; Eastern Amazon

Sumário

CAPÍTULO I – APRESENTAÇÃO DA TESE.....	10
1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
2 ESTRUTURA DA TESE	12
3 OBJETIVO GERAL.....	14
4 HIPÓTESE.....	14
5 MATERIAIS E MÉTODOS	15
REFERÊNCIAS.....	17
CAPÍTULO II - GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA HÍDRICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA ABORDAGEM INTEGRADA APLICADA À MICROBACIA DO RIO URAIM, PARAGOMINAS (PA).....	19
RESUMO	19
ABSTRACT.....	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DE RISCOS E PROPOSTA DE PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: ESTUDO DE CASO NO SISTEMA PRODUTOR DE ÁGUA DE PARAGOMINAS (PA).....	50
RESUMO	50
ABSTRACT.....	51
1 INTRODUÇÃO	51
2 MATERIAIS E MÉTODOS	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4 CONCLUSÃO	92
REFERÊNCIAS.....	93
CAPÍTULO IV - DIRETRIZES PARA AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA HÍDRICA NO CONTEXTO AMAZÔNICO: EVIDÊNCIAS PARA A ZONA URBANA DE PARAGOMINAS (PA).....	97
RESUMO	97
ABSTRACT.....	98
1 INTRODUÇÃO	99
2 MATERIAIS E MÉTODOS	101
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
4 CONCLUSÃO	122
REFERÊNCIAS.....	123
CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	128
1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
2 RECOMENDAÇÃO PARA PESQUISAS FUTURAS.....	130
3 TRABALHOS PRODUZIDOS DURANTE A PESQUISA	131

CAPÍTULO I – Apresentação da tese

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A pressão crescente sobre os recursos hídricos tornou-se um desafio central para a sustentabilidade urbana, impulsionada pelo aumento populacional, pela expansão desordenada das cidades e pelos efeitos das mudanças climáticas. Esses fatores intensificam eventos hidrológicos extremos e comprometem tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água para abastecimento público (Dias; Matos, 2023; Sardinha; Ventura, 2024). Nesse cenário, a segurança hídrica emerge como conceito central na gestão dos sistemas urbanos de água, envolvendo a capacidade de garantir água suficiente, de boa qualidade e com fornecimento contínuo, mesmo diante de pressões ambientais e socioeconômicas crescentes (Silva et al., 2019; Formiga-Johnsson; Britto, 2020).

A integridade ambiental das bacias hidrográficas é fundamental na manutenção da qualidade da água bruta utilizada para abastecimento público. Alterações no uso e ocupação do solo, associadas à expansão urbana, à conversão de florestas em áreas agrícolas ou pastagens e à intensificação de atividades antrópicas, podem modificar processos hidrológicos das bacias (Coelho et al., 2014; Joia; Anunciação; Paixão, 2018). Essas mudanças tendem a aumentar o escoamento superficial, a erosão do solo e o transporte de sedimentos, nutrientes e contaminantes para os corpos hídricos, elevando os riscos de degradação da qualidade da água e ampliando os desafios para os sistemas de tratamento e distribuição (Abrantes, 2022).

Nesse contexto, as microbacias hidrográficas assumem papel estratégico na gestão dos recursos hídricos, pois constituem unidades territoriais adequadas para a análise integrada das interações entre processos naturais e atividades humanas (Furtado et al., 2022). A integração entre análises geoespaciais, observações de campo e ferramentas de avaliação de risco podem subsidiar estratégias de gestão e proteção de mananciais utilizados para abastecimento público.

No âmbito da gestão da qualidade da água para consumo humano, destaca-se a abordagem preventiva proposta pelo Plano de Segurança da Água (PSA), recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O PSA consiste em uma metodologia baseada na gestão de riscos, que visa garantir a segurança da água ao longo do sistema de abastecimento, desde o manancial até o consumidor final. Essa abordagem envolve etapas como a caracterização do sistema de abastecimento, a identificação de eventos perigosos, a avaliação e priorização de riscos e a definição de medidas de controle e monitoramento. Ao priorizar a prevenção de riscos

em vez de respostas corretivas, o PSA contribui para fortalecer a confiabilidade e a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento (WHO, 2023; Vieira et al., 2023).

Além de promover melhorias na gestão da qualidade da água, a implementação de planos de segurança da água também está associada ao fortalecimento da resiliência hídrica urbana. A resiliência hídrica refere-se à capacidade dos sistemas urbanos de água de resistir, adaptar-se e recuperar-se diante de perturbações, como eventos climáticos extremos, contaminações acidentais ou pressões decorrentes do uso intensivo do território (Johannessen; Wamsler, 2017). Nesse sentido, a incorporação de abordagens baseadas em gestão de riscos e planejamento preventivo contribui para aumentar a capacidade adaptativa dos sistemas de abastecimento, reduzindo vulnerabilidades e fortalecendo a segurança hídrica das cidades.

Apesar dos avanços conceituais e metodológicos relacionados à segurança da água e à resiliência hídrica, ainda são relativamente escassos os estudos que integram a análise da dinâmica do uso e ocupação do solo em microbacias hidrográficas com ferramentas de avaliação de riscos aplicadas a sistemas de abastecimento de água, especialmente em contextos amazônicos.

Nessas regiões, caracterizadas por rápidas transformações territoriais e pressões crescentes sobre os recursos naturais, torna-se particularmente relevante compreender como as mudanças na paisagem podem influenciar os riscos associados à captação e ao tratamento da água destinada ao abastecimento urbano (Brandão *et al.*, 2020; Sardinha; Ventura, 2022).

Nesse cenário, destaca-se a microbacia do rio Uraim, localizada no município de Paragominas, no estado do Pará, que constitui no único manancial superficial utilizado para o abastecimento público da área urbana. A dinâmica de uso e ocupação do solo observada na bacia, associada à expansão de atividades agropecuárias e ao crescimento urbano, pode influenciar diretamente a qualidade da água captada para tratamento, configurando potenciais eventos perigosos ao sistema de abastecimento. A análise integrada desses processos torna-se, portanto, fundamental para subsidiar estratégias de gestão preventiva e fortalecer a segurança hídrica local.

Diante desse contexto, este estudo investiga a segurança e a resiliência hídrica urbana em Paragominas frente às pressões antrópicas e aos impactos das mudanças climáticas. A pesquisa integra o diagnóstico da microbacia do rio Uraim, a proposição de um Plano de Segurança da Água (PSA) para o sistema produtor de água da zona urbana e a adaptação da metodologia City Water Resilience Approach (CWRA) ao contexto local.

2 ESTRUTURA DA TESE

A tese foi organizada em formato de artigos científicos, constando de cinco capítulos, conforme ilustrado na Figura 1.

- **Capítulo I: Apresentação da tese**

Este capítulo aborda como a tese foi estruturada, descrevendo o objetivo geral e os objetivos específicos, bem como as hipóteses da pesquisa.

- **Capítulo II: Gestão de riscos e segurança hídrica na Amazônia Oriental: uma abordagem integrada aplicada à microbacia do rio Uraim, Paragominas (PA)**

O capítulo II traz o diagnóstico da área de estudo, com o objetivo de associar a análise geoespacial do uso e ocupação do solo à aplicação de ferramentas de gestão de risco, visando identificar os impactos sobre a microbacia hidrográfica do rio Uraim, no município de Paragominas (PA).

- **Capítulo III: Avaliação de riscos e proposta de Plano de Segurança da Água frente às mudanças climáticas: um estudo de caso no sistema produtor de água de Paragominas (PA)**

O capítulo III aborda sobre Plano de Segurança da Água (PSA), cujo objetivo foi propor a implantação de um PSA no sistema produtor de água, cuja captação superficial é feita no rio Uraim, com foco na identificação e gestão preventiva de riscos sanitários para orientar medidas de segurança hídrica frente à variabilidade climática.

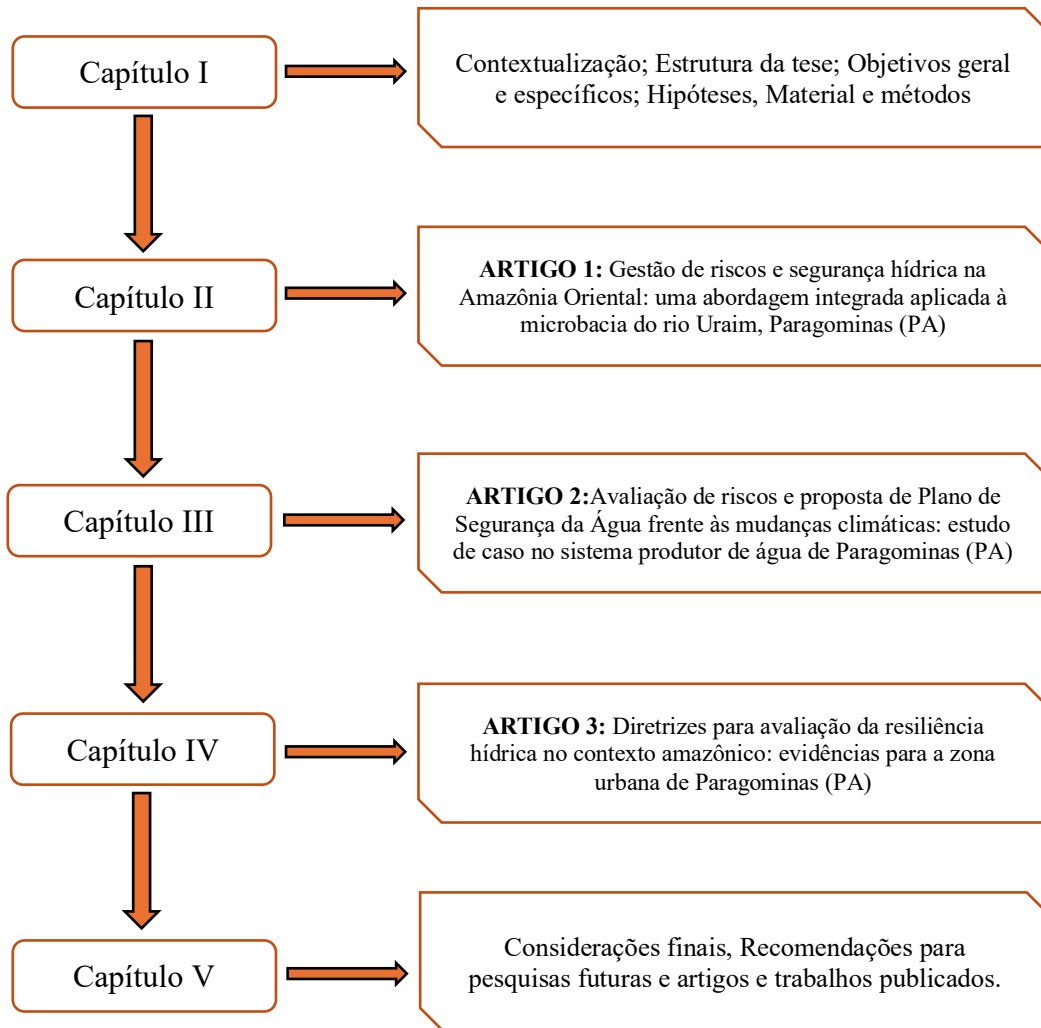
- **Capítulo IV: Diretrizes para avaliação da resiliência hídrica no contexto amazônico: evidências para a zona urbana de Paragominas (PA)**

O capítulo IV visa avaliar o nível de resiliência hídrica urbana de Paragominas por meio de indicadores quantitativos a partir da adaptação metodológica do City Water Resilience Framework (CWFA) às especificidades amazônicas.

- **Capítulo V: Conclusão geral**

O capítulo V apresenta as considerações desta tese, incluindo as considerações finais da pesquisa, recomendações para estudos futuros e cita os trabalhos produzidos durante o período acadêmico. A Figura 1 ilustra esquematicamente a estrutura da tese.

Figura 1 – Esquema da estrutura da tese



Fonte: elaboração própria, 2026

3 OBJETIVO GERAL

Propor diretrizes para a implementação do Plano de Segurança da Água (PSA) como instrumento de apoio à governança hídrica e ao fortalecimento da resiliência hídrica urbana no município de Paragominas (PA), considerando a dinâmica socioambiental da microbacia de abastecimento do rio Uraim.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura do solo na microbacia do rio Uraim, visando identificar e hierarquizar riscos à segurança hídrica em um trecho do rio Uraim localizado na zona urbana, associados às pressões antrópicas (artigo 1).
- Identificar os eventos no sistema produtor de água da ETA Uraim, abrangendo manancial, captação e tratamento, com base na metodologia do Plano de Segurança da Água (artigo 2).
- Propor diretrizes e medidas de controle para a redução dos riscos de contaminação da água no sistema produtor da ETA Uraim, com foco nos eventos perigosos classificados como de risco alto e muito alto (artigo 2).
- Avaliar o nível de resiliência hídrica urbana do município de Paragominas (PA), por meio da aplicação de indicadores quantitativos adaptados do *City Water Resilience Framework* (artigo 3).
- Analisar a existência de assimetria entre a capacidade institucional-normativa e o desempenho operacional-estrutural do sistema hídrico urbano no município de Paragominas (PA) (artigo 3).

4 HIPÓTESE

As hipóteses que nortearam esta pesquisa foram:

- Hipótese 1: A integração entre análise geoespacial, observações de campo e matriz de risco permite identificar e hierarquizar os principais riscos à segurança hídrica na microbacia do rio Uraim, predominantemente associados a pressões antrópicas.
- Hipótese 2: A aplicação das etapas iniciais do Plano de Segurança da Água na ETA Uraim possibilita a identificação de vulnerabilidades críticas e o direcionamento de medidas para

redução dos riscos de contaminação e fortalecimento da segurança hídrica frente à variabilidade climática.

- Hipótese 3: Paragominas apresenta resiliência hídrica assimétrica, caracterizada por elevada capacidade institucional-normativa e fragilidades no desempenho operacional-estrutural, configurando uma resiliência predominantemente formal.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem quali-quantitativa, com objetivos exploratórios e explicativos, desenvolvida por meio de um estudo de caso instrumental e multiescalar no município de Paragominas (PA). A investigação fundamenta-se no método hipotético-dedutivo e integra procedimentos de análise documental, geoespacial multitemporal, observações de campo, aplicação de matrizes de risco e indicadores quantitativos de resiliência hídrica, com vistas à avaliação integrada da segurança hídrica, da gestão preventiva de riscos e da governança da água em contexto amazônico.

O Quadro 1 apresenta, de forma esquemática, os objetivos, a hipótese, os métodos e os principais resultados desta tese.

Quadro 1 – Quadro lógico dos objetivos, hipóteses, métodos e resultados esperados com a tese

Objetivo	Hipótese associada	Método	Resultados
Avaliar os riscos à segurança hídrica na microbacia do rio Uraim a partir da dinâmica do uso e cobertura do solo	H1. A integração entre análise geoespacial multitemporal, observações de campo e matriz de risco permite identificar e hierarquizar os principais riscos à segurança hídrica associados a pressões antrópicas	Análise geoespacial multitemporal (1985–2024); mapeamento de uso e cobertura do solo; visitas de campo sistematizadas; aplicação de matriz de risco (probabilidade × consequência)	Identificação e hierarquização dos principais riscos à segurança hídrica da microbacia, com destaque para fontes críticas de pressão antrópica e subsídios ao ordenamento territorial
Propor a implantação de um Plano de Segurança da Água (PSA) na ETA Uraim, com foco na gestão preventiva de riscos	H2. A aplicação das etapas iniciais do PSA permite identificar vulnerabilidades críticas e orientar medidas para redução dos riscos de contaminação e fortalecimento da segurança hídrica frente à variabilidade climática	Metodologia do PSA (OMS/ABNT NBR 17.080/2023); caracterização do sistema; identificação de eventos perigosos; avaliação e classificação de riscos; proposição de medidas de controle e plano de melhorias	Diagnóstico estruturado das vulnerabilidades do sistema produtor de água e definição de diretrizes técnicas para mitigação de riscos sanitários e adaptação climática
Avaliar o nível de resiliência hídrica urbana de Paragominas por meio de indicadores quantitativos	H3. Paragominas apresenta resiliência hídrica assimétrica, com elevada capacidade institucional-normativa e fragilidades no desempenho operacional-estrutural	Aplicação de indicadores quantitativos adaptados do City Water Resilience Framework (CWRP); análise em escala ordinal (1–5); uso de dados secundários oficiais; análise gráfica (radar/ mapa de calor)	Identificação de padrões assimétricos de resiliência hídrica, evidenciando o descompasso entre governança formal e infraestrutura/saneamento
Integrar as escalas territorial, sistêmica e urbana para apoiar a governança da água	Integração das hipóteses H1, H2 e H3	Análise integrada dos resultados da microbacia, do sistema produtor de água e da adaptação do CWRP	Proposição de uma abordagem integrada e replicável para planejamento, gestão de riscos e fortalecimento da governança hídrica em municípios amazônicos

Fonte: elaboração própria, 2026

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, A. S. da M. **A qualidade da água e dos sedimentos fluviais como indicadora das alterações ocorridas em bacias hidrográficas**. 2022. 190p. Tese (doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (Unesp). Presidente Prudente, 2022.
- BRANDÃO, F. *et al.* Lessons for jurisdictional approaches from municipal-level initiatives to halt deforestation in the Brazilian Amazon. ***Frontiers in Forests and Global Change***, Lausanne, v. 3, p. 96, 2020. DOI: 10.3389/ffgc.2020.00096.
- COELHO, V. H.R. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 18, p. 64-72, 2014.
- DIAS, R.; MATOS, F. Impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos: desafios e implicações para a humanidade. ***Revista Sociedade Científica***, v. 6, n. 1, 2023.
- FORMIGA-JOHNSON, R. M.; BRITTO, A. L. Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do Rio de Janeiro. ***Ambiente & Sociedade***, v. 23, p. e02071, 2020.
- FURTADO, L. G. *et al.* Fragilidade e integridade de padrões de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Murucupi, Barcarena, Pará. ***Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais***, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 388–402, 2022. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0029.
- JOHANNESSEN, Å.; WAMSLER, C.. What does resilience mean for urban water services?. ***Ecology and Society***, v. 22, n. 1, 2017.
- JOIA, P. R.; ANUNCIACÃO, V. S. da; PAIXÃO, A. A. da. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. ***Interações (Campo Grande)***, v. 19, n. 2, p. 343-358, 2018.
- SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S. Análise preliminar dos riscos ambientais da Bacia do Rio Uraim, em um Município da Amazônia Oriental. In: ***International Workshop for Innovation in Safe Drinking Water***. 2022. p. 61-64.
- SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S. Análise da segurança hídrica em Paragominas (PA): indicadores e diretrizes de gestão. ***Revista de Arquitetura IMED***, Passo Fundo, v. 13, n. 2, p. 31–47, jul./dez. 2024. ISSN 2318-1109.
- SILVA, S. M. O. *et al.* Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza. ***Engenharia Sanitária e Ambiental***, v. 24, n. 02, p. 239-250, 2019.
- VIEIRA, J.M.P *et al.* Implementation of a national regulatory framework for drinking water safety plans in Uruguay. ***Journal of Water and Health***, v. 21, n. 10, p. 1448-1459, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. 2. ed. Geneva: WHO, 2023. ISBN 978-92-4-006769-1 (electronic version).

CAPÍTULO II - Gestão de riscos e segurança hídrica na Amazônia Oriental: uma abordagem integrada aplicada à microbacia do rio Uraim, Paragominas (PA)

RESUMO

A Amazônia Oriental tem enfrentado crescente pressão antrópica associada à expansão agropecuária, à urbanização e à conversão de paisagens naturais, com implicações diretas para a segurança hídrica em microbacias de abastecimento. Este estudo teve como objetivo associar a análise geoespacial multitemporal do uso e cobertura do solo à aplicação de matriz de priorização de eventos perigosos, com validação por observações de campo, a fim de identificar os riscos à segurança hídrica na microbacia do rio Uraim (Paragominas, PA, Brasil), subsidiando ações de prevenção, monitoramento e ordenamento territorial. A metodologia integrou: (i) análise temporal do uso e cobertura do solo (1985, 2000, 2015 e 2024) com base em produtos geoespaciais; (ii) quatro visitas de campo ao longo de um trecho representativo de 5 km, com oito pontos de observação; e (iii) aplicação de matriz de risco (probabilidade × consequência) baseada na ABNT NBR 17.080/2023 e nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (ABNT, 2023; WHO, 2023). Os resultados indicaram intensificação de usos antrópicos e pressões sobre a integridade do manancial, especialmente em trechos com supressão de vegetação ripária e presença de fontes difusas de poluição. A priorização hierarquizou como riscos mais elevados: (i) descarga de esgoto doméstico sem tratamento, (ii) ocupação urbana próxima ao rio Uraim e (iii) disposição de dejetos em áreas de pastagem, com implicações diretas para medidas de controle, monitoramento e ordenamento do uso do solo. Conclui-se que a integração entre geotecnologias, evidências de campo e priorização estruturada de riscos é aplicável ao planejamento local e ao fortalecimento da governança da água, contribuindo para maior transparência e rastreabilidade do processo decisório em microbacias sob pressão antrópica.

Palavras-chave: Segurança hídrica; Eventos Perigosos; Amazônia Oriental; Geotecnologias; Microbacias Hidrográficas.

ABSTRACT

Eastern Amazonia has experienced increasing anthropogenic pressure driven by agricultural expansion, urban growth, and land conversion, posing significant challenges to water security in drinking-water catchments. This study aimed to integrate multitemporal geospatial analysis of land use and land cover with a hazardous-event risk prioritization matrix, supported by field-based validation, to identify the water-security risks in the Uraim River microbasin (Paragominas, Pará, Brazil), thereby informing prevention, monitoring, and land-use planning actions. The methodological framework combined: (i) land use and land cover assessment for 1985, 2000, 2015, and 2024 using geospatial products; (ii) four field campaigns along a 5 km river reach with eight observation points; and (iii) a probability \times consequence risk matrix based on the Brazilian standard ABNT NBR 17.080/2023 and World Health Organization recommendations (ABNT, 2023; WHO, 2023). Results indicate intensified anthropogenic land uses and increasing pressures on the water source, particularly in river reaches affected by riparian vegetation removal and diffuse pollution sources. Risk prioritization ranked (i) untreated domestic wastewater discharge, (ii) urban occupation close to the Uraim river, and (iii) livestock-waste disposal in pasture areas as the most critical hazards, with direct implications for control measures, monitoring strategies, and land-use regulation. The study concludes that combining geotechnologies, field evidence, and structured risk prioritization constitutes an effective framework for local planning and for strengthening water governance, improving transparency and traceability in decision-making for pressured microbasins.

Keywords: Water security; Hazardous Events; Eastern Amazon; Geotechnologies; Hydrographic Microbasins.

1 INTRODUÇÃO

Amazônia brasileira vem passando por transformações expressivas no uso e na ocupação do solo desde a década de 1960, inicialmente associadas à extração madeireira e à expansão da pecuária e, em períodos posteriores, à intensificação de culturas anuais e de silvicultura, com implicações diretas sobre a dinâmica territorial e os sistemas socioecológicos regionais (Oliveira, Gomes, Cabral *et al.*, 2012; Osis; Poccar-Chapuis, 2019; Franco *et al.*, 2025).

As mudanças na cobertura e no uso da terra alteram processos hidrológicos e geomorfológicos, influenciando regimes de escoamento, potencializando erosão e assoreamento e elevando a probabilidade de introdução de poluentes nos corpos hídricos, especialmente em contextos de conversão de vegetação nativa para usos agropecuários e urbanos (Costa; Lopes Júnior, 2021; Serrão *et al.*, 2022; Zanin *et al.*, 2024).

Adicionalmente, a compreensão das relações entre uso do solo e segurança hídrica na Amazônia demanda considerar a interação entre mudanças de cobertura terrestre, variabilidade climática e mecanismos de transporte atmosférico de umidade (“rios voadores”), os quais influenciam a distribuição espacial e temporal das chuvas e, conseqüentemente, a disponibilidade de água em diferentes escalas (Nobre *et al.*, 2016; Espinoza *et al.*, 2024).

Nesse cenário, o município de Paragominas (PA) constitui um caso representativo das tensões entre desenvolvimento territorial e conservação ambiental, em razão do histórico de desmatamento, expansão agropecuária e crescimento urbano, com repercussões potenciais sobre a integridade de microbacias estratégicas para abastecimento público (Cruz, 2022; Pereira Júnior *et al.*, 2023).

Além das mudanças de uso do solo, a urbanização acelerada e o ordenamento territorial insuficiente podem intensificar pressões sobre a qualidade ambiental, ampliando vulnerabilidades associadas à ocupação de áreas sensíveis, ao manejo inadequado de resíduos e ao déficit de saneamento, com efeitos sobre saúde e bem-estar (Cruz, 2022; Tourinho, 2024).

No caso de Paragominas, a dependência do rio Uraim como fonte de captação para abastecimento público torna a microbacia particularmente sensível a alterações no entorno e às pressões cumulativas do uso do solo, uma vez que impactos a montante podem repercutir diretamente na qualidade da água captada (Pereira Júnior *et al.*, 2023; Sardinha; Ventura, 2024).

A segurança hídrica pode ser compreendida como a capacidade de assegurar acesso sustentável a volumes adequados de água, em quantidade e qualidade, de modo a sustentar a vida, a saúde e as atividades socioeconômicas, articulando dimensões ambientais, infraestruturais e de governança (UNU-INWEH, 2013).

Em microbacias urbanas e periurbanas, a supressão de vegetação ripária e a ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APP) podem reduzir a capacidade de retenção e filtragem de poluentes difusos, aumentar vulnerabilidade a processos erosivos e favorecer o aporte de nutrientes e patógenos aos cursos d'água (Garcia; Longo, 2020; Zanin *et al.*, 2024;).

Nesse contexto, intervenções associadas à manutenção e recomposição de zonas ripárias (incluindo zonas de amortecimento) tendem a contribuir para a mitigação de impactos e para a conservação de serviços ecossistêmicos relacionados à qualidade hídrica e à biodiversidade (Machado; Lima; Oliveira, 2020; Zanin *et al.*, 2024).

Diante desses desafios, análises integradas que combinem geotecnologias, evidências de campo e ferramentas de gestão de risco tornam-se estratégicas para orientar prioridades de ação em microbacias de abastecimento, sobretudo quando há limitações de séries sistemáticas de monitoramento físico-químico e microbiológico (WHO, 2023; ABNT, 2023).

Nesse sentido, este estudo se baseia na hipótese de que a integração entre análise geoespacial multitemporal do uso e cobertura do solo, observações sistematizadas em campo e a matriz de priorização de eventos perigosos permite identificar e hierarquizar os principais riscos à segurança hídrica na microbacia do rio Uraim.

Portanto, o objetivo deste artigo é avaliar os riscos à segurança hídrica na microbacia do rio Uraim (Paragominas, PA), por meio da análise da dinâmica multitemporal do uso e cobertura do solo, integrada a observações de campo e à aplicação de matriz de priorização de eventos perigosos em um trecho do rio localizado na zona urbana.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Paragominas situa-se no Norte do Brasil, na mesorregião sudeste do Estado do Pará. A área territorial é de 19.342,565 km², o clima local é classificado como tropical chuvoso com estação seca bem definida (Aw) e, o solo é, de maneira predominante (95%), do tipo latossolo amarelo com textura argilosa. O contingente populacional equivale a 105.550 habitantes, com uma densidade demográfica de 5,46 hab/km². Residem na área urbana cerca de 78% da população (IBGE, 2022).

Paragominas experimenta uma significativa variabilidade mensal e anual nas chuvas, com uma estação chuvosa distinta de dezembro a maio e um período mais seco de junho a novembro.

A precipitação média anual em um período de 30 anos (1989-2018) foi de 1745,65 mm, com extremos notáveis registrados (Giuliatti *et al.*, 2019).

O município é drenado por diversas bacias hidrográficas, sendo as principais Capim e Gurupi. A microbacia do rio Uraim, objeto deste estudo, possui área de 5.110,83 km² e integra a bacia do Gurupi, que corresponde a aproximadamente 46% do território municipal. O rio Gurupi delimita a fronteira entre os estados do Pará e Maranhão (Paragominas, 2014; ANA, 2022). A Figura 1 ilustra a localização do município, as unidades hidrográficas da Macroregião Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste e a microbacia do rio Uraim.

Estudos anteriores na área de estudo indicam que a microbacia do rio Uraim apresenta padrão de drenagem dendrítico de quinta ordem, típico de áreas com estruturas geológicas relativamente homogêneas. A bacia possui perímetro de 714,06 km, comprimento axial de 114,60 km e é subdividida em sete sub-bacias (SB01–SB07), com áreas entre 283,88 km² e 1.864,08 km² (Ferreira Júnior, 2018).

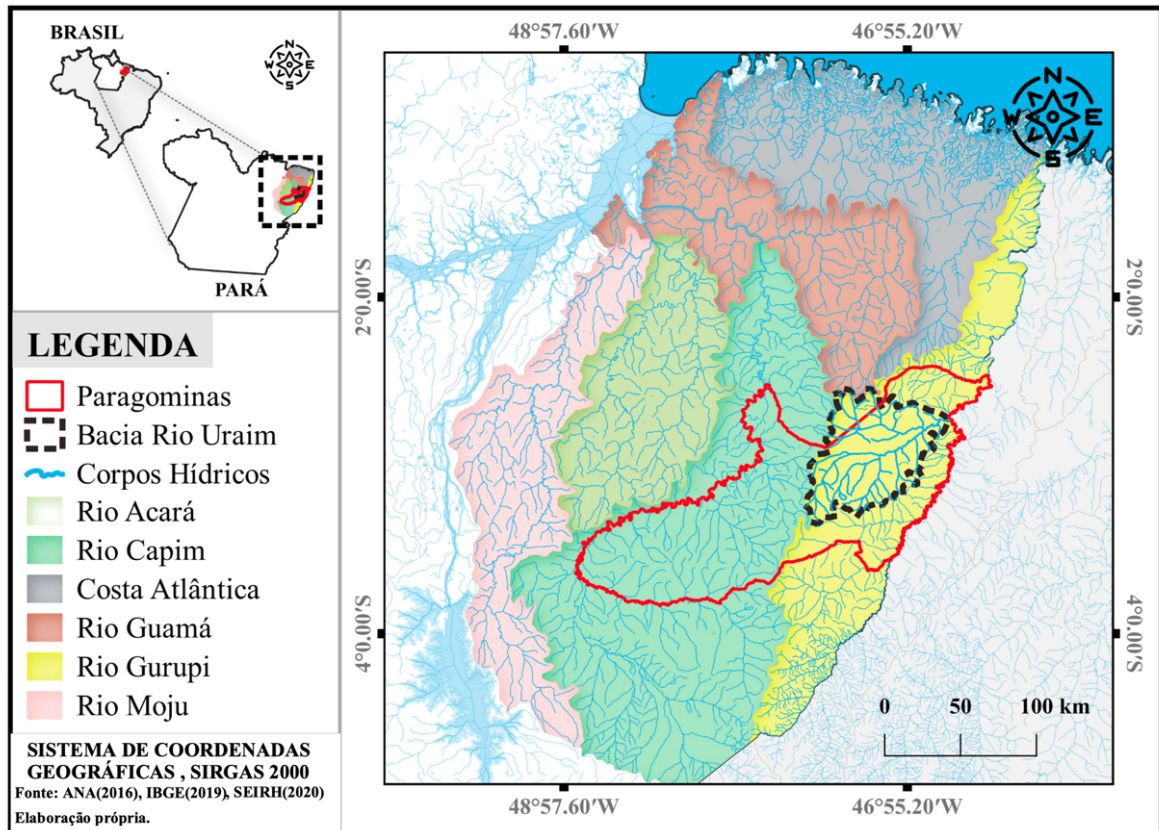
O sistema de drenagem é composto por 634 canais, tendo o rio Uraim como principal curso d'água, com extensão de 180,74 km. Embora apresente bom desempenho no escoamento superficial e baixa suscetibilidade a enchentes em condições climáticas normais, áreas com declividade inferior a 6% podem favorecer inundações. Foram ainda identificadas 336 nascentes na bacia, concentradas principalmente nas sub-bacias SB06 e SB07, das quais 55,4% estavam localizadas em áreas de floresta e 44,6% em áreas antropizadas (Ferreira Júnior, 2018).

Outro estudo realizado em Paragominas apontou para alterações na cobertura vegetal que levaram a influências hidrológicas e climatológicas, variações no índice de refletividade (Albedo) e um aumento na temperatura média da superfície do município. As variações de temperatura podem levar a alterações no balanço hidrológico, potencialmente causando aumento da evapotranspiração e transpiração, ao mesmo tempo em que reduzem a evaporação e a infiltração de água no solo, o que pode resultar em estresse hídrico durante certos períodos (Ferreira Filho; Bezerra; Pessoa, 2021).

2.2 DELINEAMENTO DO ESTUDO E FLUXO METODOLÓGICO

O delineamento da pesquisa é dedutivo-exploratório, com abordagem quali-quantitativa, orientado à integração entre análise geoespacial, validação empírica em campo e priorização estruturada de riscos ambientais em microbacia de abastecimento público (Kauark; Manhães; Medeiros, 2010; Prodanov; Freitas, 2013).

Figura 1 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Rio Uraim em Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria, 2025

O desenvolvimento da pesquisa seguiu uma sequência metodológica composta por: (i) a delimitação da microbacia hidrográfica (Figura 1); (ii) a sistematização de dados secundários, socioambientais e normativos; (iii) a análise espacial do uso e ocupação do solo em recorte multitemporal; (iv) campanhas de campo para validação e identificação de eventos perigosos; (v) a identificação de eventos perigosos por causa e efeito; e (vi) a aplicação da matriz de priorização de riscos baseada em probabilidade e consequência, conforme recomendações internacionais e norma técnica brasileira (WHO, 2023; ABNT, 2023).

2.2.1 Dados secundários

Foram consultadas fontes acadêmicas e institucionais para subsidiar a análise espacial, a caracterização socioambiental e a avaliação de consequências associadas aos eventos perigosos identificados na microbacia, com ênfase em dados territoriais, demográficos, normativos e de gestão (PARAGOMINAS, 2014; IBGE, 2022; ANA, 2022; PARAGOMINAS, 2023).

Os dados secundários abrangeram: (i) uso e cobertura do solo disponibilizados pela plataforma MapBiomas; (ii) informações demográficas e urbanas; (iii) relevo e altitude com base em Modelo Digital de Elevação; e (iv) normativas e diretrizes relevantes para gestão ambiental e gestão de risco aplicadas ao contexto do estudo.

2.2.2 Atividades de campo

As atividades de campo tiveram como finalidade complementar as análises geoespaciais, validar informações obtidas pelo processamento das imagens e identificar eventos perigosos relevantes para a avaliação de risco.

Foram realizadas quatro visitas de campo, abrangendo períodos chuvoso (dezembro a maio) e seco ou menos chuvoso (junho a novembro) ao longo de um trecho de aproximadamente 5 km, desde o ponto de captação superficial da estação Uraim até as proximidades da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Novo Horizonte, com o intuito de representatividade da área urbana.

Neste trecho, foram selecionados oito pontos de observação, considerando facilidade de acesso e representatividade ambiental. Em cada ponto, foram realizados: (i) Memorial fotográfico documentando características físicas e ambientais; (ii) Georreferenciamento das coordenadas geográficas; (iii) Registro descritivo das condições de vegetação ripária, ocupação do solo e presença de resíduos sólidos, entre outros aspectos; (iv) Visita técnica às estações de tratamento de água (ETA Uraim) e esgoto (ETE Novo Horizonte).

As observações foram sistematizadas para relacionar os impactos do uso do solo às condições do ambiente ripário e às consequências plausíveis para a qualidade da água, em coerência com princípios de gestão ambiental e gestão de risco (ABNT, 2023).

2.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS E MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Os dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Uraim foram obtidos por meio da plataforma MapBiomas e processados no software QGIS 3.34.12. As classes adotadas neste estudo basearam-se na legenda oficial da Coleção 10 do Projeto MapBiomas, cujo mapeamento anual é produzido a partir de imagens da série histórica do satélite Landsat (resolução espacial

de 30 m), organizadas em mosaicos anuais na plataforma Google Earth Engine e classificadas por algoritmos supervisionados (MAPBIOMAS, 2026).

Foram consideradas apenas as classes efetivamente presentes na área de estudo. A descrição das classes utilizadas na análise é apresentada no Quadro 1.

Foi elaborado um mapa temático detalhado da área de estudo, com enfoque nas áreas da captação, ETA Uraim e ETE Novo Horizonte, correspondente a uma área circular com raio de 500 metros. A adoção desse raio buscou delimitar a zona de influência direta do curso d'água em área urbana, permitindo identificar padrões de uso e ocupação do solo, potenciais fontes de contaminação e pressões antrópicas no entorno do rio Uraim.

Em relação à área de estudo (Pontos 1 a 8), os anos considerados para a análise foram 1985, 2000, 2015 e 2024, conforme disponibilizado pelo MapBiomias. Para o ano de 2024, o mapeamento foi ajustado manualmente a partir de imagem de satélite do Google Earth®, a fim de obter maior precisão em relação à situação atual.


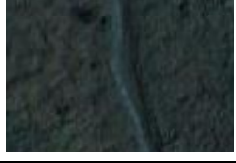



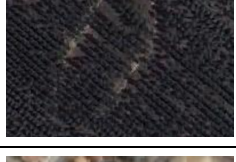

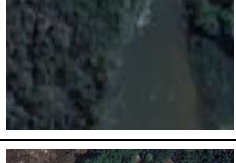

Adicionalmente, para os anos de 1985, 2000 e 2015 foram utilizadas imagens históricas do Google Earth Pro®, que foram georreferenciadas manualmente por meio da identificação de pontos em comum na área de estudo, garantindo maior confiabilidade na comparação temporal. O sistema de referência adotado em todas as etapas foi o SIRGAS 2000, UTM Zona 22S.

Na prática, a abordagem se operacionalizou da seguinte forma:

- A dimensão quantitativa envolveu o processamento e análise de dados geoespaciais no QGIS 3.34.12, utilizando os dados do MapBiomias (uso e ocupação do solo) e do IBGE (malhas municipais e limites administrativos) para elaboração de mapas temáticos, cálculo de métricas da paisagem e aplicação de técnicas estatísticas.

- A geração do mapa hipsométrico foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando o plugin OpenTopography DEM Downloader no QGIS 3.34.12. Em seguida, procedeu-se à classificação altimétrica, aplicando uma renderização graduada para representar diferentes faixas de altitude com cores distintas, facilitando a interpretação visual do relevo. No Quadro 2 está ilustrado como se deu esta etapa da pesquisa.

Quadro 1 – Classes de uso e cobertura da terra consideradas no estudo

Classe	Descrição	Exemplo
Formação Florestal	Áreas com vegetação arbórea densa, incluindo florestas naturais primárias ou secundárias, com dossel contínuo.	
Floresta Alagável	Formações florestais associadas a áreas sujeitas a inundação periódica ou permanente, geralmente próximas a corpos hídricos.	
Formação Campestre	Vegetação natural predominantemente herbácea ou arbustiva, com baixa densidade de árvores.	
Pastagem	Áreas destinadas à criação de gado, compostas principalmente por gramíneas plantadas ou naturais utilizadas para pastejo.	
Agricultura	Áreas ocupadas por cultivos agrícolas temporários ou permanentes, incluindo lavouras mecanizadas ou tradicionais.	
Silvicultura	Áreas destinadas ao cultivo de espécies florestais plantadas, como eucalipto ou pinus, com finalidade produtiva.	
Área Urbanizada	Áreas com predominância de edificações, infraestrutura urbana, pavimentação e ocupação antrópica consolidada.	
Água	Corpos d'água naturais ou artificiais, como rios, lagos, reservatórios e represas.	
Mosaico de Usos	Áreas com mistura de diferentes usos da terra em pequena escala, geralmente combinando agricultura, pastagem e vegetação remanescente.	

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2025) e Google Satélite (via QGIS 3.34.12).

Quadro 2 - Informações das imagens na classificação do uso e cobertura do solo e classificação altimétrica

Dados	Fonte	Software	Classes obtidas
Uso e ocupação do solo	Plataforma eletrônica MapBiomias	QGIS 3.34.12	Formação Florestal, Floresta Alagável, Pastagem, Agricultura, Área Urbanizada, Água, Silvicultura, Formação Campestre e Mosaico de Usos.
Área de estudo	QGIS 3.34.12 Google Earth Pro®	QGIS 3.34.12	Área de captação, ETA, ETE Novo Horizonte.
Mapa hipsométrico	OpenTopography DEM Downloader	QGIS 3.34.12	Altimetria

Fonte: Elaboração própria, 2025

2.4 INTEGRAÇÃO GEOESPACIAL E ANÁLISE DE RISCO

A integração dos dados geoespaciais às evidências de campo permitiu construir uma leitura espacialmente explícita das pressões e vulnerabilidades associadas ao uso e ocupação do solo na microbacia do rio Uraim, relacionando padrões territoriais a eventos perigosos identificados ao longo do trecho analisado (Mapbiomas, 2025; Osis; Laurent; Pocard-Chapuis, 2019).

Para priorizar riscos associados ao uso e ocupação do solo, foi aplicada uma matriz de risco baseada em probabilidade e consequência, em alinhamento às diretrizes de planejamento da segurança da água e à norma brasileira aplicável, estruturando os eventos perigosos de acordo com causa e efeito (WHO, 2023; ABNT, 2023). No Quadro 3 se apresenta a matriz de risco com a escala de priorização de eventos perigosos.

A matriz permite ordenar os riscos em escala decrescente de prioridade, orientando intervenções com maior potencial de redução de vulnerabilidade em contextos de dados limitados, reconhecendo, entretanto, a subjetividade inerente ao julgamento em campo quando não há monitoramento sistemático de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. (Costa; Lopes Júnior, 2021; ABNT, 2023; WHO, 2023).

Assim, a definição da escala de eventos perigosos para o trecho representativo da área urbana baseou-se na análise integrada dos mapas de uso e ocupação do solo e das observações de campo sistematizadas, registradas em oito pontos selecionados ao longo de aproximadamente 5 km do rio Uraim, no perímetro urbano de Paragominas (PA)

Quadro 3 – Matriz de risco de acordo com a escala de priorização de eventos perigosos

Escala de priorização de eventos perigosos					
Probabilidade	Descrição	Peso	Severidade	Descrição	
Quase certa	Espera-se que se ocorra uma vez por dia	5	Catastrófica	Potencialmente letal para uma grande parte da população	
Muito provável	Vai acontecer provavelmente uma vez por semana	4	Grande	Potencialmente letal para uma pequena parte da população	
Provável	Vai acontecer provavelmente uma vez por mês	3	Moderada	Potencialmente prejudicial para uma grande parte da população	
Pouco provável	Pode ocorrer uma vez por ano	2	Pequena	Potencialmente prejudicial para uma pequena parte da população	
Raro	Pode ocorrer em situações excepcionais (uma vez a cada cinco anos)	1	Insignificante	Sem impacto ou não detectável	
Matriz de classificação de risco					
Probabilidade	Severidade das consequências				
	Insignificante Classificação: 1	Reduzida Classificação: 2	Moderada Classificação: 3	Significativa Classificação: 4	Catastrófica Classificação: 5
Quase certa 5	5	10	15	20	25
Muito provável 4	4	8	12	16	20
Provável 3	3	6	9	12	15
Pouco provável 2	2	4	6	8	10
Raro 1	1	2	3	4	5
Muito alto: > 15		necessidade de uma ação imediata			
Alto: > 10 a 15		necessidade de especial atenção			
Médio: > 6 a 9		necessidade de atenção			
Baixo: < 6		controlável por meio de procedimentos de rotina			
Grande parte da população:		Maior que 50%			
Moderada parte da população:		Entre 10 e 50%			
Pequena parte da população:		Menor que 10%			

Fonte: Adaptado de Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO URAIM

O padrão de uso e ocupação do solo na microbacia do rio Uraim é indissociável do processo histórico de formação e expansão territorial do município de Paragominas, caracterizado por ciclos sucessivos de ocupação associados à abertura de infraestrutura, exploração madeireira e consolidação da pecuária como vetor econômico e territorial na Amazônia Oriental (Oliveira; Gomes; Cabral, 2012; Callou, 2017).

Paragominas, fundada em 4 de janeiro de 1965, ampliou seu dinamismo territorial a partir da rodovia Belém–Brasília, que intensificou fluxos de investimentos, migração e conversão de áreas naturais em usos produtivos, contribuindo para a reconfiguração da paisagem regional (Oliveira; Gomes; Cabral, 2012).

Entre as décadas de 1960 e 1970, a pecuária exerceu influência estruturante sobre a forma de ocupação, concentrando capital econômico e influência política local, o que também condicionou a emergência de atividades madeireiras e do setor de comércio e serviços sob hegemonia de grupos associados ao campo (Soares *et al.*, 2016). Até a década de 1980, a estrutura demográfica de Paragominas era predominantemente rural, padrão que se altera de modo consistente com a intensificação econômica e com a expansão do núcleo urbano (Callou, 2017).

No período de 2000 a 2022, a população urbana aumentou de 58.354 para 94.330 habitantes, enquanto a população rural diminuiu de 18.096 para 11.220 habitantes, evidenciando a intensificação da urbanização e, com ela, o aumento de pressões sobre infraestrutura e serviços associados ao ambiente urbano (IBGE, 2000; IBGE, 2022).

Atualmente, cerca de 89,37% da população de Paragominas vive em zona urbana, o que reforça a relevância de compreender como a expansão urbana e as dinâmicas do uso do solo se articulam com vulnerabilidades ambientais, sobretudo quando o manancial de abastecimento se encontra no interior da área de influência direta de usos antrópico (IBGE, 2022; Pereira *et al.*, 2023).

A microbacia do Rio Uraim ocupa uma área equivalente a 5.110,83 km², abrangendo majoritariamente o município de Paragominas (86,99%) e parcialmente o município de Nova Esperança do Piriá (12,47%), indicando que pressões e medidas de gestão podem envolver mais de uma escala administrativa (Pereira *et al.*, 2020).

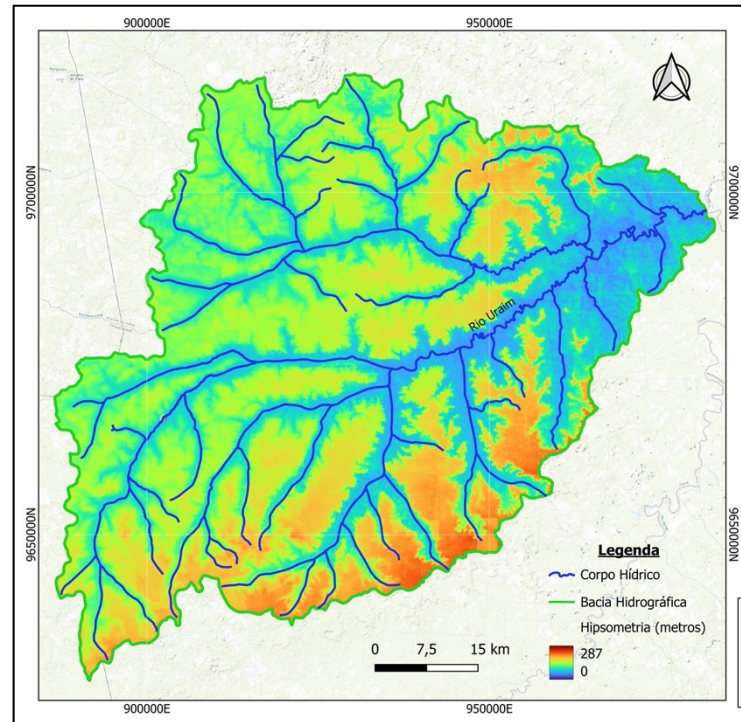
No território de Paragominas, a microbacia representa 21,75% da área municipal, compreendendo 27 cursos d'água convergentes ao rio principal, com vazão média anual estimada em 268.423,35 m³/h, o que evidencia sua importância para o abastecimento urbano e demais usos múltiplos (Paragominas, 2014).

O rio Uraim, sendo o talvegue principal da microbacia e encontra-se integralmente inserido no território municipal, configurando-se como o recurso hídrico superficial mais relevante para abastecimento e uso local e, por isso, altamente sensível às pressões do uso do solo e à qualidade ambiental do entorno ripário (Paragominas, 2014; Sardinha; Ventura, 2024).

O mapa hipsométrico (Figura 2) evidencia a variação altimétrica e o escoamento em direção ao nordeste do município até o rio Gurupi, reforçando a necessidade de interpretar

conectividade hidrológica e efeitos cumulativos a montante e a jusante na bacia hidrográfica. (ANA, 2022; Paragominas, 2014).

Figura 2 – Mapa hipsométrico da Microbacia Hidrográfica do Rio Uraim em Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria, 2025

3.2 DINÂMICA TEMPORAL DO USO DO SOLO

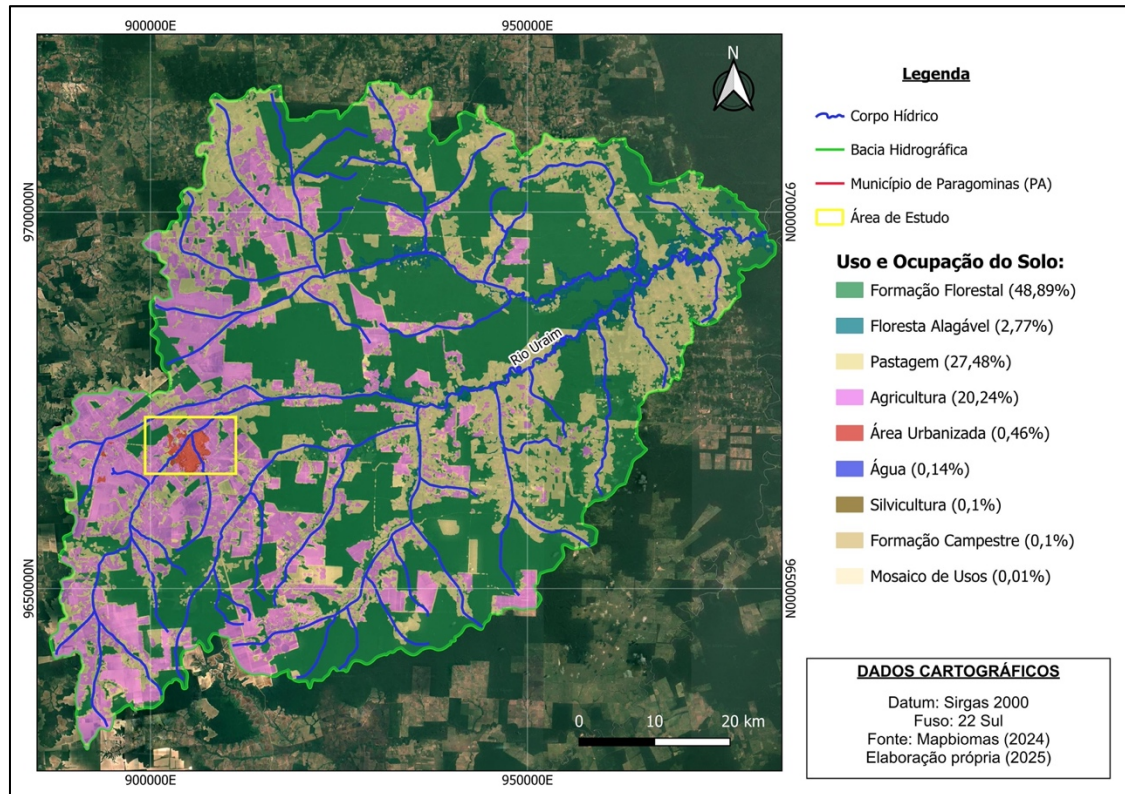
A análise multitemporal da cobertura e uso do solo aponta que a microbacia do rio Uraim apresenta um mosaico territorial em que remanescentes florestais coexistem com áreas intensamente transformadas por usos agropecuários e urbanos (Pereira et al., 2022).

Os resultados indicam que aproximadamente 51% do território permanece sob formações naturais (formação florestal e floresta alagável), enquanto cerca de 48% são ocupados por pastagens, agricultura e áreas urbanas (Figura 3), caracterizando um contexto de pressão antrópica relevante para a integridade ecológica e para a segurança hídrica local.

Esse cenário pode ser interpretado a partir da trajetória histórica do município como fronteira de exploração madeireira e expansão agropecuária, com picos de desmatamento, como o de 2005 (303,3 km²), que motivaram ações de fiscalização, sendo o ano em que foram deflagradas operações da polícia federal como Curupira e Ouro Verde. Paragominas foi

inserida na lista de maiores desmatadores da Amazônia Legal em 2008 (Oliveira; Gomes; Cabral, 2012; Piketty *et al.*, 2015).

Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo da Microbacia Hidrográfica do Rio Uraim em Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria, 2025

Com a inclusão de Paragominas à lista de municípios com maiores taxas de desmatamento, foi iniciada uma pressão para reverter a situação, devido aos graves impactos sociais e econômicos negativos, o que estimulou o governo municipal, com apoio de atores locais, a negociar um roteiro para sair da lista, incluindo um pacto local de desmatamento zero e avanços na implementação do cadastro ambiental rural, que favoreceram mudanças estruturais no modelo produtivo e induziram um processo contínuo de redução das taxas de derrubada florestal (Oliveira, Gomes e Cabral, 2012; Piketty *et al.*, 2015; Brandão *et al.*, 2020).

Mesmo com a queda de aproximadamente 80% no desmatamento entre 2005 e 2015 (Lauren *et al.*, 2017), a ocorrência de queimadas em 2015 e 2016, evidenciaram persistência de pressões ambientais, com potencial de comprometer a cobertura florestal e serviços ecossistêmicos associados ao regime hidroclimático regional (Assis; Valdambri; Souza, 2024; INPE; 2025; SALES *et al.*, 2019).

Na microbacia do Uraim, a aproximação de atividades produtivas e urbanas aos corpos hídricos tende a ampliar riscos de degradação ambiental, sobretudo em trechos mais intensivos, com potenciais repercussões a montante e a jusante até o rio Gurupi (Pereira *et al.*, 2020; ANA, 2022.).

A representatividade de áreas de produção e vegetação secundária indica integridade florestal parcialmente comprometida, reforçando a necessidade de manejo territorial e conservação voltados à proteção de serviços ecossistêmicos relacionados à regulação hídrica e à qualidade da água (Serrão *et al.*, 2022; Franco *et al.*, 2025).

A análise integrada evidencia dinâmica territorial condicionada pelo avanço de atividades agropecuárias e pela crescente urbanização, sendo crítico o fato de a principal captação superficial de água do município se situar em área com predominância de pastagens, agricultura e ocupação urbana (Pereira Júnior *et al.*, 2023; Sardinha; Ventura, 2024).

Nessas condições, tende a aumentar a carga potencial de nutrientes, defensivos agrícolas e esgoto sem tratamento direcionada ao rio Uraim, pressionando a capacidade de autodepuração e ampliando vulnerabilidades associadas ao abastecimento (Costa; Lopes Júnior, 2021; Serrão *et al.*, 2022; Zanin *et al.*, 2024).

Embora o espaço urbano represente apenas 0,46% da área da microbacia, sua expansão imprime pressões típicas de cidades amazônicas em crescimento, incluindo impermeabilização do solo, ocupação irregular em APP e déficit de infraestrutura, com potencial de repercussão sobre a qualidade hídrica e riscos sanitários.

O avanço da silvicultura em Paragominas, mesmo com baixa proporção espacial na microbacia, sinaliza a diversificação produtiva e o incentivo ao reflorestamento, com efeitos que podem variar conforme o manejo e a localização das áreas plantadas na paisagem.

As transformações do uso do solo também se associam a mudanças físicas e ecológicas observáveis, incluindo alteração do albedo e impactos no regime hidrológico e na precipitação, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de interpretação integrada. (Ferreira Filho; Bezerra; Pessoa, 2021; Espinoza *et al.*, 2024; Nobre *et al.*, 2016).

Entre 1984 e 2018, o território da microbacia passou por mudanças vinculadas à abertura de estradas, expansão agrícola, extração de madeira e incêndios, consolidando um contexto de pressão sobre ecossistemas naturais e sobre a estrutura da paisagem. (Cruz *et al.*, 2022; Pereira Júnior *et al.*, 2023).

Apesar de avanços locais de governança socioambiental, a microbacia do Uraim permanece atravessada por desafios que demandam políticas persistentes de ordenamento

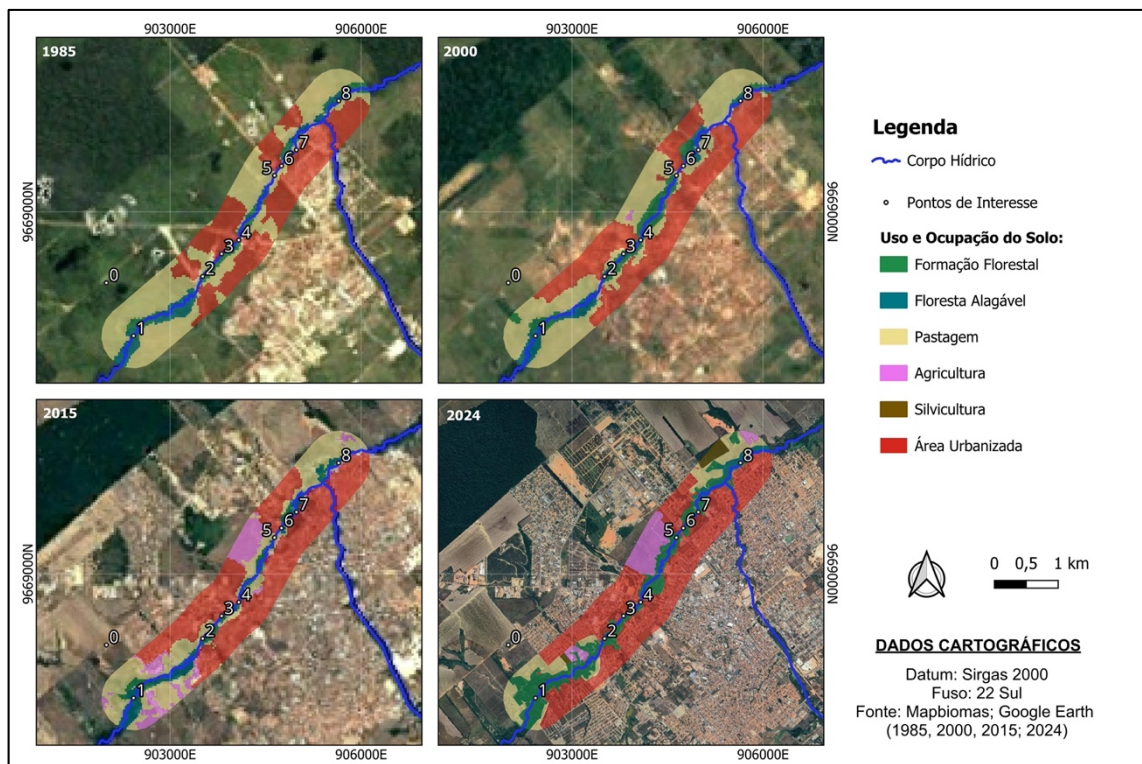
territorial e controle do uso do solo, especialmente em áreas próximas ao rio Uram, essenciais para a segurança hídrica. (Piketty *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2020; Tourinho, 2024).

3.3 ALTERAÇÃO DA PAISAGEM NOS ANOS DE 1985, 2000, 2016 E 2023

As Figuras 4 e 5 ilustram os pontos avaliados em campo, incluindo a área de captação superficial de água e o entorno da Estação de Tratamento de Esgoto Novo Horizonte, que permanece desativada, fornecendo evidências para interpretar vulnerabilidades ambientais e riscos à segurança hídrica.

A análise temporal (1985–2024) evidencia transformações significativas ao longo de quatro décadas, expressando a trajetória de ocupação e desenvolvimento de Paragominas e sua influência sobre o entorno do rio Uram (MAPBIOMAS, 2025; Oliveira; Gomes; Cabral, 2012).

Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da Microbacia Hidrográfica do Rio Uram em Paragominas (PA)

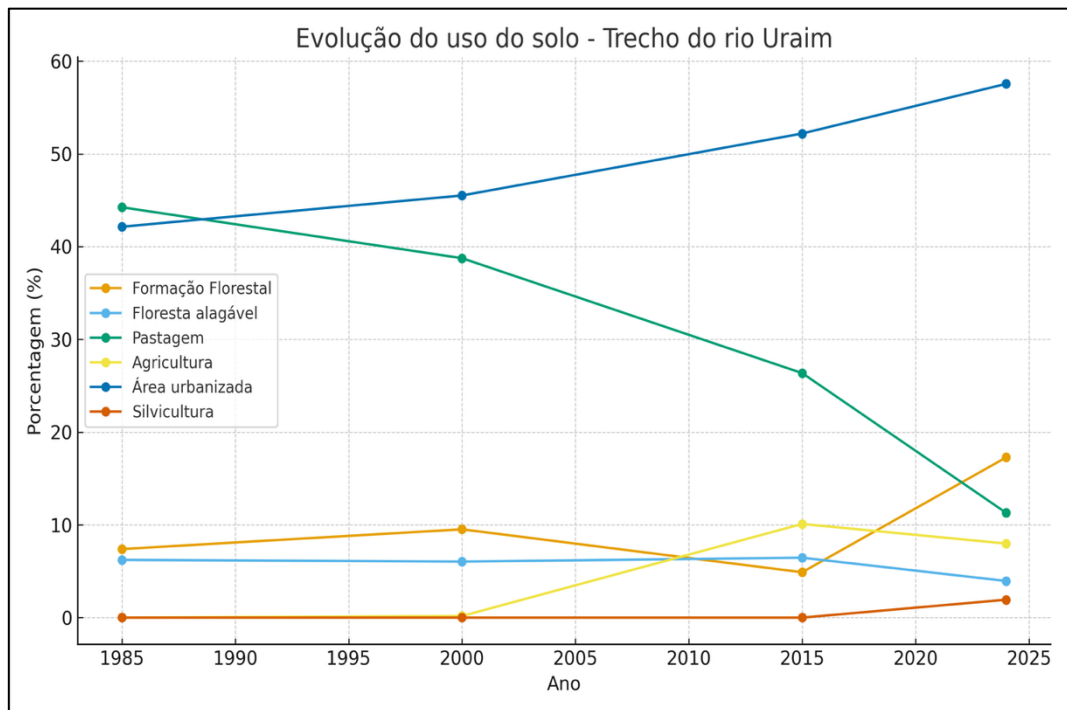


Fonte: elaboração própria, 2025

Nos anos iniciais avaliados (1985 e 2000), observa-se uma paisagem marcada pela ampla presença de pastagens e pela expansão do núcleo urbano, resultado direto da

consolidação da pecuária e do crescimento populacional associado ao fortalecimento do setor terciário.

Figura 5 – Uso e ocupação do solo para um trecho do rio Uraim dentro da área urbana dos anos de 1985 a 2023



Fonte: elaboração própria (2025) a partir dos dados do Mapbiomas de 1985 a 2024

A partir de 2016, torna-se evidente a intensificação de áreas destinadas à agricultura mecanizada, com conversão de porções previamente ocupadas por pastagens, acompanhando a reorganização do espaço produtivo municipal (MAPBIOMAS, 2025; Pereira Júnior *et al.*, 2023)

Em paralelo, a recuperação de cobertura vegetal em determinados trechos sugere efeitos de políticas de regularização ambiental e controle do desmatamento, ainda que de forma fragmentada e heterogênea. (Oliveira; Gomes; Cabral, 2012; Brandão *et al.*, 2020).

No cenário mais recente (2023), a paisagem revela mosaico no qual usos urbanos e agrícolas coexistem com áreas em regeneração, mas permanece a pressão sobre trechos sensíveis próximos ao curso d'água, indicando necessidade de integração entre saneamento, planejamento urbano e manejo sustentável do solo.

No trecho analisado, a substituição de pastagens por áreas urbanas e agrícolas é expressiva, e a expansão urbana configura a categoria com maior crescimento no período 1985–2024, ampliando pressão sobre margens e ecossistemas ripários.

A redução da floresta alagável de 6,23% para 3,95% sugere maior vulnerabilidade das áreas ribeirinhas, enquanto o aumento da formação florestal de 7,39% para 17,28% indica regeneração parcial, evidenciando conservação ainda heterogênea no território.

A introdução da silvicultura em 2024, ocupando 1,93% da área, sinaliza diversificação produtiva e reflorestamento, potencialmente associados à mitigação de erosão e à filtragem de poluentes, a depender do manejo. (IBGE, 2022; Tourinho, 2024).

O trecho do rio Uraim permanece intensamente antropizado, apesar do aumento de vegetação no entorno da captação, o que indica pressões persistentes e potencial vulnerabilidade do manancial. (Mapbiomas, 2025; Pereira Júnior *et al.*, 2023).

O rio Uraim é a única fonte de captação de água superficial do município, atendendo aproximadamente 47% da população de Paragominas, o que eleva a criticidade de riscos associados ao entorno do canal e às fontes difusas de poluição (Paragominas, 2023; Sardinha; Ventura, 2024).

A vulnerabilidade do manancial é ampliada em áreas urbanizadas e agrícolas, onde pode ocorrer lixiviação de nutrientes, defensivos e aportes de esgoto não tratado, com repercussões sobre parâmetros físico-químicos e microbiológicos. (Ferreira Filho; Bezerra; Pessoa, 2021; Cruz *et al.*, 2022).

O Plano Diretor Municipal prevê diretrizes de proteção de elementos naturais do território e estabelece limitação do uso e ocupação do solo, inclusive em trechos urbanos, em conformidade com o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) (Paragominas, 2023; Brasil, 2012).

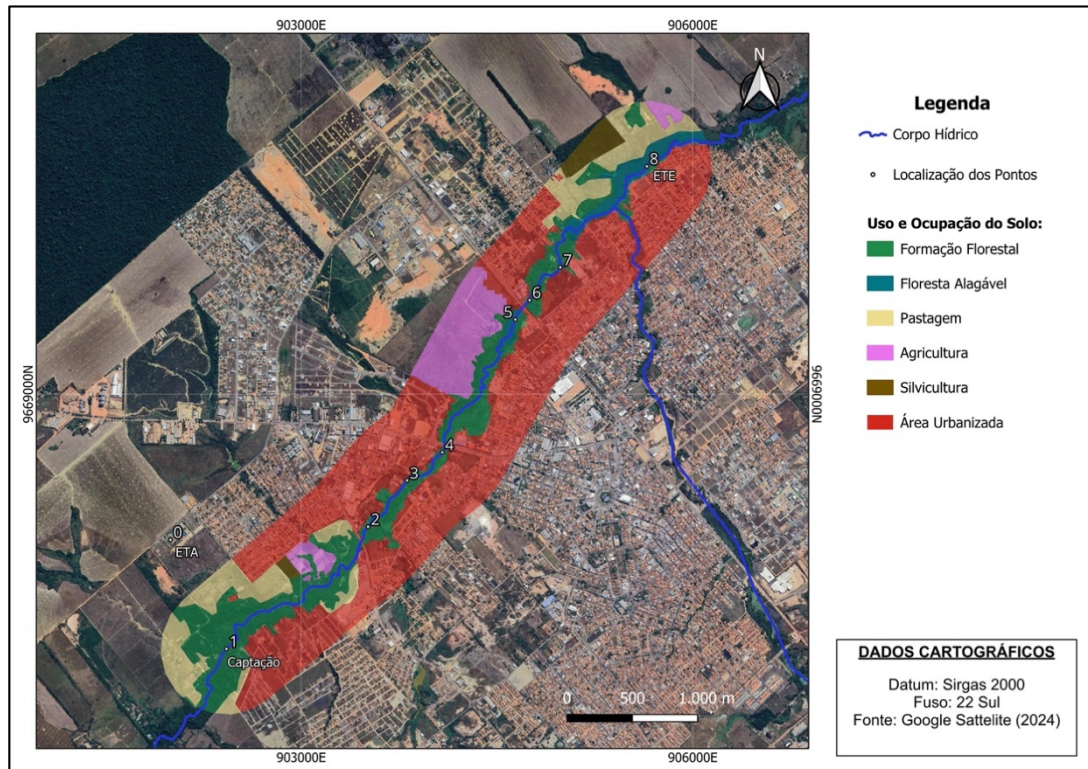
A permanência do rio Uraim na Macrozona de Preservação Ambiental do município reforça a necessidade de manejo territorial e fiscalização para proteção de APP e conservação de vegetação ripária, essenciais à manutenção da qualidade da água e da biodiversidade local. (Paragominas, 2023; Oliveira; Gomes; Cabral, 2012; Tourinho, 2024).

3.4 AVALIAÇÃO DOS EVENTOS PERIGOSOS NO TRECHO ETA-ETE

Com base nos dados do uso e ocupação do solo (Figura 6) e nas visitas de campo (Figura 7), foi aplicada a matriz de priorização de riscos para o trecho selecionado como representativo da zona urbana, conforme a ABNT NBR 17.080/2023 e as recomendações da Organização

Mundial de Saúde, visando classificar eventos perigosos por probabilidade de ocorrência e a severidade das consequências (WHO, 2023; ABNT, 2023).

Figura 6 – Mapa de uso e ocupação do solo no trecho do Rio Uraim entre o Manancial, ETA e ETE no ano de 2025



Fonte: elaboração própria, 2025

A Figura 7 tem caráter exclusivamente documental, reunindo as fotografias dos 8 pontos visitados e servindo como evidência visual das condições observadas em campo.

No Quadro 4 se apresentam os eventos perigosos identificados no trecho, associando cada ocorrência ao seu efeito potencial (X) e sua causa principal (Y), conforme abordagem proposta para gestão de risco em segurança da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023).

Ainda que o julgamento envolva subjetividade, a matriz constitui instrumento aplicável para apoiar decisão e priorização em contextos de uso intenso do solo e dados limitados, desde que as limitações sejam explicitadas e as prioridades sejam revisadas com monitoramento contínuo.

A avaliação da matriz identificou 15 eventos distintos, sendo quatro eventos (26,7%) classificados como risco alto, seis (40%) como risco médio e cinco (33,3%) como risco baixo, controláveis por procedimentos de rotina, o que permite organizar prioridades de intervenção no trecho analisado.

Figura 7 – Pontos de 1 a 8 visitados *in loco* no trecho em estudo do rio Uraim



P1 - Captação SANEPAR



P2 - Sítio Lourenço



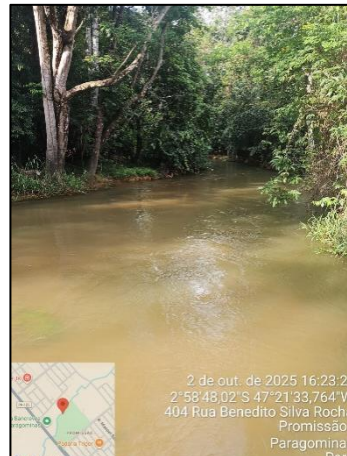
P3 - Clube SINSEP



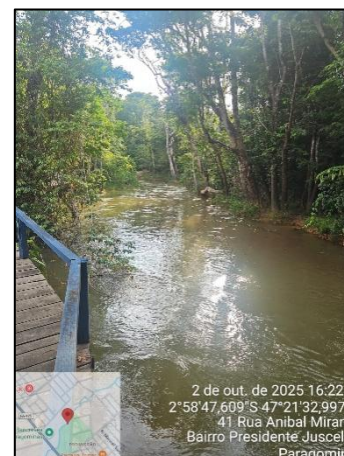
P4 - SESI



P5 - Após a ponte (Bancrevea)



P6 - Recreação



P7 - Parque ambiental



P8 - ETE Novo Horizonte

Fonte: elaboração própria, 2025

Quadro 4 – Eventos perigosos do trecho em estudo do rio Uraim com efeito (X) e causa (Y)

Fator	Cenário	Evento perigoso	P	C	R
Pastagem	A água do rio pode estar contaminada com coliformes fecais (X) devido à presença de dejetos de animais em áreas próximas ao corpo hídrico e subsequente lixiviação após chuva forte (Y).	Lançamento de dejetos animais no solo e possível escoamento	5	3	15
	A água do rio pode apresentar aumento de turbidez (X) em decorrência da erosão do solo exposto em áreas de pastagem, potencializada pelo pisoteio de animais e pelo escoamento pluvial (Y)	Alteração devido ao sobrepastoreio	4	2	8
	A água do rio pode estar sujeita à presença de agroquímicos (X), devido à aplicação de herbicidas e pesticidas em áreas de pastagem e subsequente carreamento para o leito do rio (Y).	Uso de produtos agropecuários	2	3	6
	A água do rio pode estar sujeita a alteração no ciclo hidrológico e contaminação por cinzas, ter a turbidez aumentada (X) devido a alteração das taxas de evaporação e evapotranspiração, ao transporte de cinzas pelo vento e ao processo erosivo	Uso de fogo para preparo do solo para pasto	2	3	6
Agricultura	A água do rio pode estar contaminada por agrotóxicos (X) devido à aplicação de pesticidas/ herbicidas/ fungicidas nas lavouras e o escoamento superficial após chuvas intensas (Y).	Aplicação de produtos agrícolas	3	3	9
	A qualidade da água do rio pode ser comprometida pelo excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) decorrentes do uso de fertilizantes químicos em áreas agrícolas e seu carreamento para o corpo hídrico.	Uso de insumos agrícolas	2	3	6
	A água do rio pode apresentar aumento de turbidez (X) em função da erosão do solo agrícola exposto após preparo do terreno ou cultivo em áreas de declive (Y)	Alteração das características naturais do solo	2	3	6
Silvicultura	A qualidade da água do rio pode ser comprometida por resíduos de fertilizantes e defensivos agrícolas (X) utilizados no manejo silvicultural e transportados para o corpo hídrico após chuvas intensas (Y)	Uso de produtos agrícolas	2	2	4
	A água do rio pode estar sujeita ao acúmulo de matéria orgânica (X) em função da deposição de folhas e resíduos de biomassa provenientes de plantações florestais localizadas próximas às margens (Y).	Aporte de matéria orgânica de origem vegetal	2	2	4
	A qualidade da água do rio pode ser afetada por alterações no regime hidrológico (X) decorrentes da substituição de vegetação nativa por espécies exóticas de rápido crescimento, como o eucalipto (Y)	Substituição da vegetação nativa	2	2	4
	A água do rio Uraim pode apresentar contaminação microbiológica associada ao uso de resíduos orgânicos (como lodo ou esterco) (X) devido a aplicação de adubo em áreas de silvicultura e posteriormente carreados pela chuva (Y)	Disposição de resíduos orgânicos	2	2	4
Urbanização	A qualidade da água do rio pode ser comprometida pela presença de metais pesados e hidrocarbonetos (X) em razão do escoamento superficial de vias urbanas durante eventos de chuva intensa (Y)	Ocorrência eventual de acidentes de trânsito	1	2	2
	A água do rio pode apresentar aumento de sólidos suspensos, aumento de turbidez e/ou contaminação microbiológica (X) em função da erosão do solo decorrente de obras de infraestrutura e ao lançamento de esgoto doméstico sem tratamento (Y)	Adensamento populacional	5	3	15
	A água do rio pode estar sujeita à presença de resíduos sólidos flutuantes (X) devido ao descarte inadequado de lixo em áreas urbanas e posterior arraste pelas redes de drenagem pluvial (Y)	Descarte irregular de resíduos sólidos	5	3	15
	A qualidade da água do rio pode ser afetada pela redução da vegetação ciliar (X) em decorrência da ocupação irregular de Áreas de Preservação Permanente, diminuindo a capacidade de retenção de poluentes difusos (Y)	Redução da vegetação de entorno do rio	5	3	15

Fonte: Elaboração própria, 2025

Os eventos de risco alto concentram-se, sobretudo, em processos vinculados à urbanização (adensamento populacional, descarte irregular de resíduos sólidos e redução de vegetação no entorno do rio/ocupação irregular de área de preservação permanente) e à presença de dejetos animais em áreas de pastagem, o que evidencia a centralidade das fontes difusas e pontuais de poluição na determinação do risco ao manancial (Garcia; Longo, 2020; Paragominas, 2023).

A categoria “Pastagem” apresenta evento crítico (R=15) associado ao lançamento de dejetos animais e ao escoamento, com potencial de contaminação fecal após chuvas, aspecto relevante para segurança sanitária e para o risco microbiológico em mananciais superficiais. (Cosmann *et al.*, 2010; WHO, 2018; Ifon *et al.*, 2023).

A ocorrência de eventos relacionados à erosão, sobrepastoreio, uso do fogo e carreamento de agroquímicos indica que o manejo do solo e a proximidade de áreas produtivas ao rio Uraim podem ampliar turbidez, transporte de sedimentos e aporte de contaminantes, sobretudo durante eventos de chuva intensa (Costa; Lopes Júnior, 2021; Serrão *et al.*, 2022).

3.5 DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS VISANDO A SEGURANÇA HÍDRICA

Os eventos perigosos identificados na microbacia do rio Uraim, conforme Quadro 4, indicam que a priorização de riscos deve orientar intervenções que integrem gestão ambiental, fiscalização e monitoramento, com atenção imediata aos eventos classificados como de risco alto, sem negligenciar ações estruturantes preventivas para os riscos médios e baixos.

Os vetores de maior relevância para degradação hídrica e ambiental nesta microbacia incluem urbanização desordenada, expansão agrícola e uso pecuário, demandando ações coordenadas para reduzir cargas poluentes, proteger áreas de preservação permanente, qualificar drenagem e aprimorar saneamento.

Considerando o conceito de segurança hídrica, cinco dimensões orientam a formulação de políticas: atendimento das necessidades básicas, suporte ao desenvolvimento econômico, proteção de ecossistemas, prevenção de desastres/mitigação de riscos e manutenção de estabilidade hídrica, sendo essas dimensões aplicáveis ao planejamento local (UNU-INWEH, 2013; Saito, 2018).

A operacionalização dessas diretrizes demanda conectar o diagnóstico do risco à capacidade de gestão municipal, integrando instrumentos como o Plano Diretor e o

ordenamento do uso do solo com ações setoriais (saneamento, fiscalização ambiental, educação ambiental e suporte técnico ao setor produtivo) (Paragominas, 2023; Brasil, 2012).

O Quadro 5 sintetiza o agrupamento de eventos perigosos por tipo de pressão (urbanização, expansão agrícola, pastagem e silvicultura/reflorestamento), com classificação de risco, medidas de controle/mitigação e ações de monitoramento, orientando a priorização de agendas de intervenção.

Quadro 5 – Grupo de eventos perigosos com a classificação de risco, ações de controle e/ou mitigação e suas ações de monitoramento

Evento Perigoso / Grupo	Risco	Medidas de Controle / Mitigação	Ações de Monitoramento
Urbanização desordenada	Alto	Planejamento urbano integrado, delimitação de áreas de preservação, educação ambiental	Monitoramento periódico da ocupação urbana, inspeções de fiscalização, análise de imagens de satélite
Expansão agrícola	Médio	Práticas agrícolas sustentáveis, manutenção de faixas de preservação permanente, controle de defensivos	Coleta e análise de parâmetros físico-químicos da água, auditoria ambiental em propriedades
Pastagem intensiva	Médio	Gestão de dejetos animais, manutenção de vegetação ciliar, rotação de pastos	Monitoramento da qualidade da água, registros de carga de nutrientes e bacteriológicos
Silvicultura reflorestamento	^e Baixo	Planejamento das áreas reflorestadas, uso de espécies nativas e manejo sustentável	Registro de áreas reflorestadas, análise do impacto sobre o ecossistema aquático

Fonte: adaptado a partir de Ferro; Ventura; Vaz Filho (2025).

O Quadro 6 amplia o nível de detalhamento e sistematiza diretrizes para implementação de políticas públicas, explicitando finalidades, ações, referências e responsáveis, de modo a favorecer governança, rastreabilidade e capacidade operacional do plano de ação.

Quadro 6 – Diretrizes para implementação de políticas públicas que auxiliem no alcance da segurança hídrica da microbacia do rio Uraim

Diretriz / Finalidade	Ações detalhadas	Finalidade	Referências	Responsáveis
Integração Interinstitucional	<ul style="list-style-type: none"> - Articular ações contínuas entre secretarias municipais de Meio Ambiente, Saúde, Agricultura, Planejamento Urbano e Saneamento. - Firmar parcerias com universidades, ONGs e setor privado. - Implementar comitê de bacia hidrográfica com periodicidade de reuniões e planos de ação conjuntos. 	Garantir coordenação entre setores para decisões integradas sobre a gestão hídrica e planejamento urbano sustentável.	ONU, 2018; Saito, 2018; Sardinha; Ventura, 2024	Secretarias Municipais, Universidades, ONGs, Comitê de Bacia, Agência de Saneamento de Paragominas
Zoneamento e Proteção de Áreas de Manancial	<ul style="list-style-type: none"> - Delimitar zonas de preservação permanente ao longo de rios e afluentes. - Restringir atividades agropecuárias e urbanas em áreas críticas. - Criar corredores ecológicos e faixas de vegetação nativa para conter sedimentos e poluentes. 	Proteger fontes de água, manter integridade ambiental e prevenir contaminação hídrica.	Ferreira Filho, Bezerra; Pessoa, Planos 2021; Diretores Municipais, 2023; WHO, 2018	Secretaria de Meio Ambiente, Órgãos de Fiscalização Ambiental, Agência de Saneamento de Paragominas
Regulação do Uso do Solo	<ul style="list-style-type: none"> - Integrar o plano de segurança hídrica ao plano diretor municipal. - Incentivar urbanização sustentável (pavimentação permeável, drenagem verde). - Estabelecer limites de expansão urbana em áreas de risco hídrico. 	Evitar ocupação desordenada e reduzir riscos de erosão, assoreamento e poluição hídrica.	Oliveira, Gomes; Cabral, 2012; Nascimento; Loverde-Oliveira, 2024; Piketty <i>et al.</i> , 2015	Secretaria de Planejamento Urbano, Defesa Civil, Prefeitura

Fonte: elaboração própria, 2025

Quadro 6 – Diretrizes para implementação de políticas públicas que auxiliem no alcance da segurança hídrica da microbacia do rio Uraim (continuação)

Diretriz / Finalidade	Ações detalhadas	Finalidade	Referências	Responsáveis
Gestão Sustentável da Pecuária e Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar sistemas silvipastoris e agricultura regenerativa. - Manejo correto de fertilizantes e defensivos agrícolas. - Recuperar áreas degradadas próximas a corpos hídricos. - Monitorar lixiviação de dejetos animais e nutrientes. 	Reduzir impactos ambientais da agropecuária, preservando a qualidade da água e solo.	Grossi <i>et al.</i> , 2019; Cheng, McCarl; Fei, 2022; Cosmam, 2010; Ifon <i>et al.</i> , 2023	Secretaria de Agricultura, Emater, Produtores Rurais
Monitoramento e Controle da Qualidade da Água	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar estações de monitoramento contínuo. - Criar protocolos de resposta rápida a eventos perigosos (vazamentos, enchentes, contaminações). - Integrar dados em sistemas de alerta à população. - Operar a ETE Novo Horizonte. 	Garantir monitoramento constante da água e respostas rápidas a riscos de contaminação ou eventos críticos.	Sardinha; Ventura, 2024; WHO, 2018; CPRM, 2018	Agência de Saneamento de Paragominas, Secretaria de Meio Ambiente, CPRM, Embrapa, ANAS
Instrumentos Econômicos e Incentivos	<ul style="list-style-type: none"> - Oferecer incentivos fiscais a produtores que adotem práticas sustentáveis. - Criar fundos municipais de segurança hídrica. - Cobrança pelo uso da água conforme impacto e volume. 	Financiar ações de conservação e incentivar práticas sustentáveis que protejam a água.	Lauren <i>et al.</i> , 2017; Brandão <i>et al.</i> , 2020	Prefeitura, Secretaria de Fazenda, Comitê de Bacia, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMÁS)
Educação Ambiental e Participação Comunitária	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver campanhas educativas sobre uso e conservação da água. - Criar conselhos locais de segurança hídrica com participação comunitária. - Estimular projetos escolares e comunitários de reflorestamento e preservação de nascentes. 	Sensibilizar e engajar a população na proteção dos recursos hídricos e na resiliência ambiental.	ABNT NBR 17080:2023; Saito, 2018; UNU-INWEH (2013); Sardinha; Ventura, 2024	Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Prefeitura, Comitê de Bacia Hidrográfica, SEMÁS

Fonte: elaboração própria, 2025

4 CONCLUSÃO

A microbacia do rio Uraim apresenta pressão antrópica relevante, com predomínio de usos agropecuários e expansão urbana em áreas estratégicas para o abastecimento público, o que reforça a necessidade de integrar leitura territorial, evidência empírica e instrumentos de gestão de risco.

A análise multitemporal de uso e cobertura do solo (1985, 2000, 2015 e 2024) e as observações de campo em quatro visitas ao longo de 5 km, com oito pontos, confirmaram a existência de trechos com elevada antropização e vulnerabilidade associada ao entorno do rio Uraim e às zonas ripárias.

A matriz de priorização de eventos perigosos (probabilidade \times consequência), aplicada com base nas diretrizes da ABNT NBR 17.080/2023 e da Organização Mundial da Saúde, permitiu hierarquizar riscos e explicitar prioridades de intervenção na microbacia (ABNT, 2023; WHO, 202).

Os riscos mais críticos identificados concentram-se em vetores associados à urbanização desordenada e ao saneamento, especialmente a descarga de esgoto doméstico sem tratamento, a ocupação urbana próxima ao rio Uraim e o descarte irregular de resíduos sólidos, além da disposição de dejetos animais em áreas de pastagem, que pode intensificar contaminação difusa após eventos de chuva.

Do ponto de vista de contribuição metodológica, o estudo demonstra que a integração entre geotecnologias, validação de campo e matriz estruturada de risco produz um diagnóstico aplicável ao planejamento local, com potencial de orientar ações de prevenção, monitoramento e ordenamento territorial em microbacias de abastecimento sob pressão antrópica.

Como contribuição técnico-institucional, o trabalho sistematiza diretrizes de ação para controle/mitigação e monitoramento, compatíveis com a gestão municipal e com a necessidade de rastreabilidade das prioridades definidas.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14001:2015: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17080: plano de segurança da água – princípios e diretrizes para elaboração e implementação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022.** Brasília, DF: ANA, 2022.
- ASSIS, Nathalia Ribeiro; VALDAMBRINI, Bruno; SOUZA, Angelita Matos. Paragominas-PA e a crise ambiental na Amazônia: uma experiência bem-sucedida do planejamento municipal. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 46, v. 2 – Vol. Esp. “Congresso Internacional de Geoecologia das Paisagens e Planejamento Ambiental - CIGEPAM ”, p. 204-223, jun/2024.*
- BRANDÃO, Frederico et al. Lessons for jurisdictional approaches from municipal-level initiatives to halt deforestation in the Brazilian Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change*, Lausanne, v. 3, p. 96, 2020. DOI: 10.3389/ffgc.2020.00096.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 09 mar. 2025.
- CALLOU, R.N.C. **O sonho de fundação de Paragominas-PA e o projeto nacional-desenvolvimentista na Amazônia:** memórias, narrativas e identidades. 2017. 101p. Dissertação (mestrado em Linguagens e Saberes na Amazônia). Universidade Federal do Pará. Campus de Bragança, 2017.
- CHENG, M.; MCCARL, B.; FEI, C. **Climate change and livestock production: a literature review.** *Atmosphere*, Basel, v. 13, n. 1, 140, 2022. DOI: 10.3390/atmos13010140.
- COSMANN, Natássia Jersak et al. **Transporte de nutrientes e bactérias por escoamento superficial devido a aplicação de água residuária da suinocultura no solo.** 2010. 65p. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascável, 2010.
- COSTA, Nayara Barreto da; LOPES JÚNIOR, José Marcelo. **A antropização e os ambientes aquáticos: reflexos sob a perspectiva da limnologia.** In: Anais do XXVIII Congresso de Geografia, 2021. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/plutao/2021/06.16.15.58/doc/AAOANTRPICAEOA-MBIENTESAQUATICOSREFLEXESSOBAPERSECTIVADALIMNOLOGIA-GEOGRAFIA.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL. **Relatório de Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto**

Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações. Paragominas, 2018. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20404>. Acesso em: 28 set. 2022.

CRUZ, D.C. *et al.* Priority areas for restoration in permanent preservation areas of rural properties in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**. v. 115, p. 106030, 2022.

ESPINOZA, Jhan-Carlo et al. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 8107, 2024.

FERREIRA FILHO, D. F.; BEZERRA, P. E. S.; PESSOA, F. C. L. A dinâmica da vegetação e suas influências hidroclimáticas no município de Paragominas-PA. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, p. 46-69, 2021.

FERREIRA JÚNIOR, Pedro Pereira. **Simulação da resposta hidrológica às mudanças de uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica no leste da Amazônia.** Orientador: Adriano Marlisom Leão de Sousa. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2018.

FERRO, L. H. R.; VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P. Medidas de controle e monitoramento operacional de riscos à segurança da água na captação superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro (SP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 88, 2025. DOI: 10.17271/23188472138820255741.

FRANCO, M. A. et al. **How climate change and deforestation interact in the Amazon: a long-term analysis.** *Environmental Research Letters*, Bristol, v. 20, n. 1, 2025.

GARCIA, J. M.; LONGO, R. M. **Análise de impactos ambientais em áreas de preservação permanente como instrumento de gestão.** *Revista Cerrados*, Montes Claros, v. 18, n. 1, p. 107–128, 2020. DOI: 10.22238/rc2448269220201801107128.

GUILLIATTI, N. M.; RODRIGUES, A. B. M.; JESUS, E. S.; PEREIRA JÚNIOR, A. Variabilidade da precipitação mensal e anual no município de Paragominas-Pa. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, p. 1716-1730, 2019. DOI: 10.18677/EnciBio_2019A133.

GROSSI, Giampiero et al. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 69-76, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/paragominas.html>. Acesso em: 30 jul. 2025.

IFON, E., Adyari, B., Hou, L., Ohore, O. E., Rashid, A., Yu, C., & Anyi, H. Urbanization influenced the interactions between dissolved organic matter and bacterial communities in rivers. **Journal of Environmental Management**, 341, 117986. 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117986> . Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723007740>. Acesso em: 30 jul. 2025.

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de dados de queimadas (BDQueimadas)**. São José dos Campos: INPE, 2025. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.
- LAURENT, François et al. Le tournant environnemental en Amazonie: ampleur et limites du découplage entre production et déforestation. **EchoGéo**, n. 41, 2017.
- MACHADO, Ricardo Augusto Souza; DE LIMA, Érica Cardoso; DE OLIVEIRA, Anderson Gomes. Evolução da cobertura e uso do solo na Zona de Amortecimento da Estação Ecológica Raso da Catarina entre 1985 e 2015 e sua relação com o processo de desertificação. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 5, p. 3107-3122, 2020.
- MAPBIOMAS. **Coleção MapBiomas: mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil**. São Paulo: MapBiomas, 2025. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- MAPBIOMAS. **Método Cobertura e Uso**. Conheça os passos da metodologia de cobertura e uso da terra. MapBiomas, 2026. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/. Acesso em: 03 mar. 2026.
- NASCIMENTO, Lisiane Andréia; LOVERDE-OLIVEIRA, Simoni Maria. Revisão bibliográfica sistemática relacionada ao estudo da vulnerabilidade ambiental em rios urbanos. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 50, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/76911>. Acesso em: 2 Abr. 2025.
- OLIVEIRA, R. S.; GOMES, S. C.; CABRAL, E.R. Da condição de município “Marrom” a município “Verde”: o caso de Paragominas. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, Porto Velho (RO), v. 4, n. 2, p. 122-139, mai./ago. 2012. ISSN 2176-8366.
- OSIS, R., LAURENT, F., & POCCARD-CHAPUIS, R.. Spatial determinants and future land use scenarios of Paragominas municipality, an old agricultural frontier in Amazonia. **Journal of Land Use Science**, 2019. 4(3), 258–279. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1643422>
- PARAGOMINAS (Município). **Plano municipal de saneamento básico de Paragominas: Diagnóstico e prognóstico**. 2014. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/12/PLANO-MUNICIPAL-DE-SANAMENTO.pdf> >. Acesso em: 10 Ago. 2025.
- PARAGOMINAS (PA). **Prefeitura Municipal. Plano Diretor Municipal 2023–2033**. Paragominas, 2023. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/07/PLANO-DIRETOR-MUNICIPAL-2023-A-2033.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2025.
- PEREIRA JÚNIOR, A. *et al.* Multitemporal analysis of land use and land cover in the Uraim river microbasin, Paragominas – Pará. **Concilium**, [S. l.], v. 23, n. 6, p. 383–404, 2023.

PEREIRA JÚNIOR, Antônio Pereira et al. Flows in urban water bodies in the eastern Amazon: concepts, measurements and water quality. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 5, p. e4407-e4407, 2024.

PEREIRA, L.C.; ALMEIDA, A.S. de; FERREIRA, B.M.; LAMEIRA, W. J.M.; ASSUNÇÃO, S.P. de. Mapeamento de uso e cobertura da terra e análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Uraim. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 75, p. 225–239, 2020. DOI:[10.14393/RCG217551521](https://doi.org/10.14393/RCG217551521).

PIKETTY, M.-G. *et al.* Multi-level Governance of Land Use Changes in the Brazilian Amazon: Lessons from Paragominas, State of Pará. **Forests**, 2015. 6(5), 1516-1536. <https://doi.org/10.3390/f6051516>

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

NOBRE, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

SALES, G. M., *et al.* Emprego dos focos de calor na avaliação das queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v.14, n. 1, p. 55-77, 2019.

SERRÃO, E. A. *et al.* Impacts of land use and land cover changes on hydrological processes and sediment yield determined using the SWAT model. **International Journal of Sediment Research**, v. 37, n. 1, p. 54-69, 2022.

SOARES, D.A.S., LEITE, A. dos S. L.; LOBATO, M.M.; CASTRO, C.J.N. de. Usos do território em Paragominas (PA): espaço geográfico e classe sociais. **Revista Tocantinense de Geografia**. Araguaína (TO), I Ano 05, n.08, jul./dez. 2016. ISSN: 2317-9430.

OSIS, R.; LAURENT, F.; POCCARD-CHAPUIS, R. **Spatial determinants and future land use scenarios of Paragominas municipality, an old agricultural frontier in Amazonia**. *Journal of Land Use Science*, v. 14, n. 3, p. 258–279, 2019. DOI: [10.1080/1747423X.2019.1643422](https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1643422).

SAITO, C. H. Segurança hídrica e direito humano à água. **Ética, direito socioambiental e democracia**, p. 94-108, 2018.

SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S. Análise da segurança hídrica em Paragominas (PA): indicadores e diretrizes de gestão. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 13, n. 2, p. 31–47, jul./dez. 2024. ISSN 2318-1109.

TOURINHO, L. P. **O Projeto Município Verde de Paragominas-PA e a questão Social no discurso de sustentabilidade**. 2024. 128p. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido). Universidade Federal do Pará. Belém, 2024.

UNU-INWEH- Institute for Water, Environment & Health. **Water security & the global water agenda**: a UN-Water analytical brief. 2013. United Nations University. Revised

version, October 2013. Canadá, 2013. ISBN 978-92-808-6038-2. Disponível em: https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/05/analytical_brief_oct2013_web.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. 2. ed. Geneva: WHO, 2023. ISBN 978-92-4-006769-1 (electronic version).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **E.Coli.** . Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ZANIN, Paulo Rodrigo et al. Do protected areas enhance surface water quality across the Brazilian Amazon?. **Journal for Nature Conservation**, v. 81, p. 126684, 2024.

CAPÍTULO III - Avaliação de riscos e proposta de Plano de segurança da água frente às mudanças climáticas: estudo de caso no sistema produtor de água de Paragominas (PA)

RESUMO

A segurança da água destinada ao consumo humano constitui desafio crescente frente às pressões exercidas pelas mudanças climáticas e atividades antrópicas, especialmente em regiões amazônicas. Este estudo teve como objetivo propor a implantação de um Plano de Segurança da Água (PSA) no sistema produtor da estação de tratamento de água Uraim, em Paragominas (PA), com foco na identificação e gestão de riscos sanitários. Adotou-se abordagem quali-quantitativa baseada na metodologia da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023) e na norma ABNT NBR 17.080/2023, aplicando as etapas de caracterização do sistema, identificação de eventos perigosos, avaliação de riscos e planejamento de melhorias. Foram realizadas visitas técnicas ao manancial (rio Uraim), ponto de captação e estação de tratamento em períodos chuvoso e seco (2023-2024), além de análise documental de laudos laboratoriais e relatórios operacionais. Os resultados revelaram 23 eventos perigosos distribuídos entre manancial, captação e unidades de tratamento, dos quais 8 foram classificados como risco alto ou muito alto. Vulnerabilidades críticas identificadas incluem: monitoramento irregular da qualidade da água bruta (descumprimento da Portaria 888/2021), lançamento de esgoto clandestino à montante da captação, gestão inadequada do lodo da ETA e ausência de protocolos padronizados de contingência. O plano de melhorias proposto contempla medidas de controle específicas para eventos de maior risco, integração com instrumentos de governança hídrica municipal e fortalecimento da capacidade adaptativa frente aos efeitos das mudanças climáticas. Concluindo que a aplicação das etapas iniciais do PSA permitiu identificar vulnerabilidades críticas e estabelecer diretrizes fundamentais para redução dos riscos de contaminação, representando instrumento estratégico para a gestão preventiva da segurança da água em municípios amazônicos.

Palavras-chave: Eventos Perigosos. Plano de Segurança da Água. Amazônia Oriental. Mudanças Climáticas. Gestão de Riscos.

ABSTRACT

Water security for human consumption has become an increasing challenge in the face of pressures driven by climate change and anthropogenic activities, particularly in Amazonian regions. This study aimed to propose the implementation of a Water Safety Plan (WSP) in the production system of the Uraim Water Treatment Plant, located in Paragominas, Pará State (Brazil), with a focus on the identification and management of sanitary risks. A quali-quantitative approach was adopted, based on the World Health Organization methodology (WHO, 2023) and the Brazilian standard ABNT NBR 17,080/2023, applying the stages of system characterization, identification of hazardous events, risk assessment, and improvement planning. Technical field visits were conducted at the water source (Uraim River), abstraction point, and treatment facilities during both the rainy and dry seasons (2023–2024), complemented by documentary analysis of laboratory reports and operational records. The results identified 23 hazardous events across the source, abstraction, and treatment units, of which eight were classified as high or very high risk. Critical vulnerabilities included irregular monitoring of raw water quality (non-compliance with Ordinance No. 888/2021), illegal upstream sewage discharges near the abstraction point, inadequate management of water treatment sludge, and the absence of standardized contingency protocols. The proposed improvement plan includes targeted control measures for higher-risk events, integration with municipal water governance instruments, and strengthening adaptive capacity to climate change impacts. It is concluded that the application of the initial WSP stages enabled the identification of critical vulnerabilities and the establishment of fundamental guidelines for reducing contamination risks, representing a strategic tool for preventive water safety management in Amazonian municipalities.

Keywords: Hazardous Events; Water Safety Plan; Eastern Amazon; Climate Change; Risk Management.

1 INTRODUÇÃO

A água está no centro da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pela Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável em 2015. Este acordo estabeleceu uma visão estratégica com marcos bem definidos em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), visando alcançar progressos sociais e ambientais

significativos em diversas áreas da atividade humana (WHO, 2015; ONU, 2023; Vieira, 2011). O ODS 6 se refere a água potável e saneamento, estabelecendo o princípio de garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos até 2030.

Portanto, os sistemas de abastecimento de água devem atender a requisitos de qualidade que normalmente é monitorado por meio de análises físico-químicas e bacteriológicas, atendendo a padrões definidos, normalmente, pelas autoridades de saúde pública. No Brasil, o padrão de potabilidade da água é determinado pelo Ministério da Saúde através da Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021. No entanto nas últimas décadas tornou-se evidente que esse monitoramento pode ser insuficiente e tardio (WHO, 2015; van Den Berg *et al.*; 2019).

Ademais os mananciais de abastecimento estão sujeitos a influências antropogênicas e geogênicas. O deflorestamento, as atividades agrícolas, o lançamento de efluentes, a ocupação irregular do solo e eventos climáticos como enchentes e secas podem culminar em alteração das características qualitativas da água bruta, exigindo respostas eficazes por parte dos operadores de estações de tratamento de água (Allan, Xia, Pahl-Wostl, 2013; WHO, 2023).

Apesar dos esforços, é comum que operadores, seja de forma regular ou eventual, possam não atender integralmente aos padrões exigidos para água potável, incluindo critérios de qualidade, quantidade, pressão e continuidade do fornecimento, o que resulta no fornecimento de água potável insegura (Vieira, 2011).

Neste sentido, a segurança da água destinada ao consumo humano é um desafio constante, especialmente diante de pressões exercidas pelas mudanças climáticas. Nesse cenário o plano de segurança da água (PSA) recomendado pela Organização Mundial da Saúde, constitui em uma ferramenta estratégica de caráter preventivo cujo objetivo é identificar eventos perigosos e avaliar riscos em todas as etapas do sistema de abastecimento, desde o manancial de captação até a distribuição da água ao consumidor (WHO, 2023).

Com a previsão de que o aquecimento global continue levando a mudanças múltiplas e simultâneas em todas as regiões do mundo, os planos de segurança da água surgiram como uma abordagem que contribui com o gerenciamento seguro da água potável, pois empregam uma estratégia de barreira múltipla em que se uma medida de controle falhar, outras serão implementadas para manter a segurança da água. Com isso, o planejamento a longo prazo para abastecimento de água deve levar em conta as crescentes incertezas externas devido às mudanças climáticas e ambientais (Biasibetti *et al.*, 2023).

A metodologia para desenvolvimento de um PSA é descrito pelo *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers* (WHO, 2023) e pela Norma ABNT NBR 17080/2023 (ABNT, 2023), que apresentam dentre outras etapas, a árvore

de decisão, que favorece a análise sistemática dos riscos ao permitir a organização a hierarquização dos eventos perigosos, a priorização de medidas de controle e a definição de planos de contingência, que podem ser relevantes na gestão de qualidade da água.

Pesquisas realizadas em diversas partes do mundo apontam que os planos de segurança da água são considerados um método mais eficaz para garantir a gestão segura da água potável, abrangendo a qualidade, aceitabilidade e quantidade da água, dentro do contexto da proteção da saúde pública (Biasibetti *et al.*, 2023).

Considerando essas premissas, este estudo parte da hipótese de que a aplicação das etapas iniciais do Plano de Segurança da Água (PSA), incluindo caracterização do sistema, identificação de eventos perigosos, avaliação de riscos e planejamento de melhorias, no sistema produtor da estação de tratamento de água Uraim, na zona urbana de Paragominas permitirá identificar vulnerabilidades críticas e estabelecer diretrizes para a redução dos riscos de contaminação no sistema de abastecimento, promovendo maior segurança hídrica e fortalecendo a capacidade de adaptação frente às condições climáticas variáveis da Amazônia Oriental.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi propor a implantação de um Plano de Segurança da Água (PSA) no sistema produtor da estação de tratamento de água Uraim, com foco na identificação e gestão de riscos sanitários, visando garantir a segurança da água e promover a adaptação deste sistema aos impactos das mudanças climáticas. Especificamente, o estudo busca: (i) caracterizar o sistema de abastecimento de água da ETA Uraim, incluindo manancial, captação e processos de tratamento; (ii) identificar eventos perigosos que possam comprometer a qualidade da água em todas as etapas analisadas; (iii) avaliar e classificar os riscos associados aos eventos perigosos identificados através da matriz de probabilidade severidade; (iv) propor medidas de controle e planos de melhoria para os eventos perigosos de risco alto e muito alto; (v) contextualizar a importância do PSA frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas na região amazônica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Paragominas situa-se no Norte do Brasil, na mesorregião sudeste do Estado do Pará. A área territorial é de 19.342,565 km² (Figura 1). O clima local é classificado como tropical chuvoso com estação seca bem definida (Aw), apresentando períodos chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (junho a novembro). O solo é, de maneira predominante

(95,0%), do tipo latossolo amarelo com textura argilosa Paragominas contém uma população de 105.550 habitantes, com uma densidade demográfica de 5,46 hab/km², com grande predominância urbana onde reside cerca de 78% da população (Ferreira Filho; Bezerra; Pessoa, 2021; IBGE, 2022).

Figura 1 – Localização do município de Paragominas (PA)



Fonte: Sardinha e Ventura, 2022

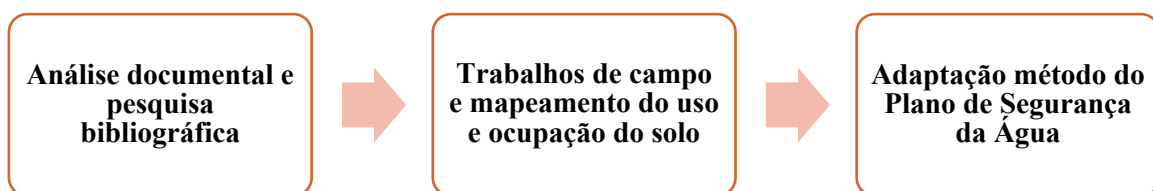
2.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa corresponde a um estudo de caso, onde leva-se em consideração, principalmente, a compreensão como um todo do assunto investigado (Fachin, 2006), com abordagem quali-quantitativa, de natureza descritiva e exploratória, que, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), possibilita estabelecer objetivos e formular hipóteses para gerar novas perspectivas sobre o assunto estudado. Portanto, a abordagem quali-quantitativa foi adotada para integrar a análise técnica da estação de tratamento de água com a percepção dos riscos e vulnerabilidades ambientais, conforme recomenda a metodologia da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023) e a norma brasileira NBR 17.080/2023 (ABNT, 2023) para aplicação de Planos de Segurança da Água (PSA). O método foi dividido em 3 etapas, conforme ilustrado na Figura 2.

Etapa 1 – Análise documental e pesquisa bibliográfica

Esta fase compreendeu a análise de documentos oficiais como o Plano Municipal de Saneamento Básico de Paragominas, Plano Diretor Municipal de Paragominas 2023 a 2033, legislações e decretos municipais, Relatórios Técnicos, Laudos de análises físico-químicas e microbiológicas, Planilhas de Controle de Insumos e demais documentos produzidos pela gerência de operação da estação de tratamento de água Uraim. Também foi feita pesquisa bibliográfica das legislações pertinentes a nível estadual e federal, além de buscas de artigos científicos disponíveis em plataforma de indexação científica, incluindo Web of Science, SciELO, ScienceDirect, bem como no motor de busca acadêmico Google Scholar, abrangendo publicações nacionais e internacionais, com recorte temporal entre 2010 e 2025.

Figura 2 – Etapas metodológicas da pesquisa aplicada na ETA Uraim



Fonte: elaboração própria, 2025

Etapa 2 – Trabalhos de campo e mapeamento de uso e ocupação do solo

As atividades de campo foram conduzidas por meio de visitas no entorno do manancial superficial, o rio Uraim, bem como ao ponto de captação e à Estação de Tratamento de Água (ETA) Uraim. As visitas ocorreram nos períodos chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (junho a novembro), nos anos de 2023 e 2024. Tais atividades possibilitaram a produção de vídeos e registros fotográficos, além do acompanhamento da rotina operacional da ETA Uraim para coleta de dados e observação dos procedimentos adotados pela Agência de Saneamento de Paragominas.

A análise da área de influência imediata no entorno da captação é recomendada no âmbito do Plano de Segurança da Água (PSA), pois possibilita identificar fontes potenciais de contaminação e pressões antrópicas capazes de comprometer a qualidade da água bruta utilizada no abastecimento público. Embora os documentos orientadores não estabeleçam um limite

espacial fixo para essa avaliação, recomenda-se considerar toda a área de captação que possa influenciar a qualidade da água do manancial (WHO, 2023; Vieira et al., 2023). Nesse contexto, para a análise do entorno imediato do ponto de captação e das estruturas relacionadas ao sistema produtor, foi adotado um raio de 500 m, permitindo avaliação, em escala local, de potenciais fontes de risco e atividades antrópicas capazes de interferir na qualidade da água destinada ao abastecimento.

Os dados de uso e cobertura da terra ao entorno do sistema produtor de água foram obtidos por meio da plataforma MapBiomas e processados no software QGIS 3.34.12. As classes adotadas neste estudo basearam-se na legenda oficial da Coleção 10 do Projeto MapBiomas, cujo mapeamento anual é produzido a partir de imagens da série histórica do satélite Landsat (resolução espacial de 30 m), organizadas em mosaicos anuais na plataforma Google Earth Engine e classificadas por algoritmos supervisionados (MAPBIOMAS, 2026).

Etapa 3 – Adaptação do método do Plano de Segurança da Água

O método foi estruturado a partir do escopo definido pela Organização Mundial da Saúde em seu Manual do Plano de Segurança da Água: gestão de riscos passo a passo para fornecedores de água potável (WHO, 2023) e da Norma Brasileira NBR 17.080/2023 Plano de Segurança da Água: princípios e diretrizes para elaboração e implementação (ABNT, 2023).

O plano de segurança da água (PSA) abrange a análise de todo o sistema de abastecimento de água, ou seja, desde o manancial até o consumidor, e, deve incluir entre outros itens, a capacitação de recursos humanos, ensaios laboratoriais, ensaios hidráulicos e testes em equipamentos, o que exige custos monetários elevados.

Portanto, a Organização Mundial da Saúde recomenda que o método seja dividido em 4 fases que consistem no desenvolvimento, operação, verificação e revisão do plano de segurança, em um ciclo contínuo de avaliação. No primeiro ciclo tem-se as 10 etapas para composição do PSA que são: (1) formação da equipe, (2) descrição do sistema de abastecimento de água, (3) identificação dos eventos perigosos, (4) avaliação de risco e validação das medidas de controle existentes, (5) planejamento de melhorias, (6) monitoramento das medidas de controle, (7) efetividade de implementação do plano de segurança da água, (8) fortalecimento dos procedimentos, (9) fortalecimento de programas de apoio e (10) revisão do plano de segurança da água (Figura 3).

Figura 3 – Etapas metodológicas do plano de segurança da água e seu ciclo contínuo



Fonte: Organização Mundial da saúde (WHO, 2023)

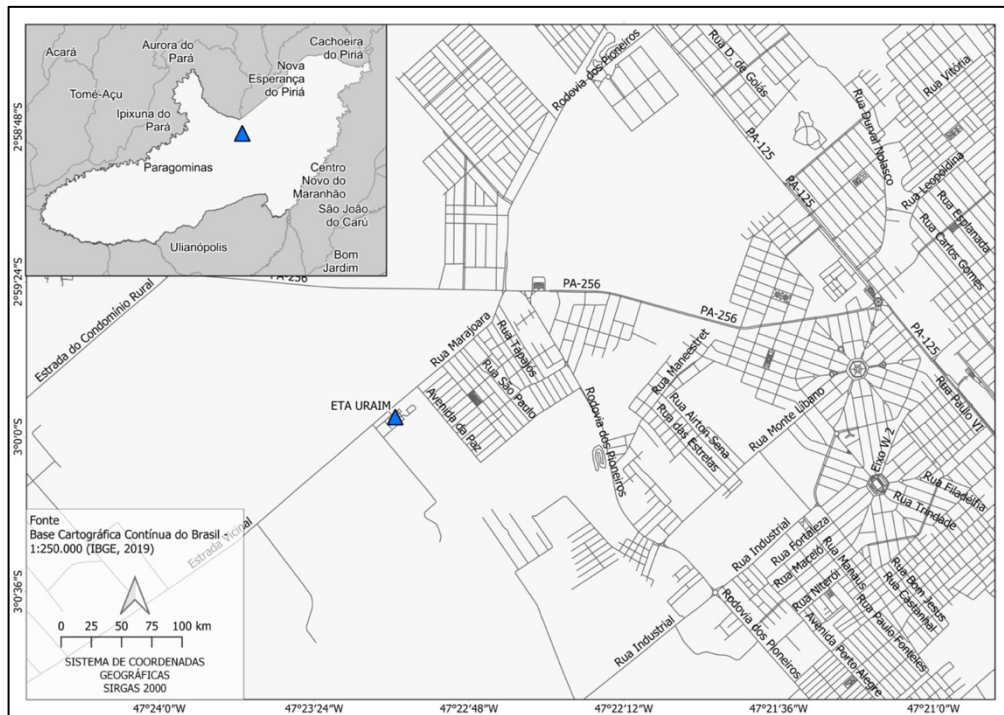
Neste estudo a abordagem foi adaptada para a análise do manancial, captação e estação de tratamento de água e não foi feita a análise dos componentes e estrutura da rede de abastecimento de água. As etapas consideradas foram: (2) descrição do sistema de abastecimento de água; (3) identificação dos eventos perigosos; (4) avaliação de risco e validação das medidas de controle existentes e (5) planejamento de melhorias.

2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.3.1 Caracterização do sistema de abastecimento de água

A Agência de Saneamento de Paragominas, é uma autarquia municipal, criada em 2008, responsável pelo sistema de abastecimento de água que atende as zonas rural e urbana. Na zona rural o abastecimento é realizado exclusivamente por meio de poços, enquanto na zona urbana, o abastecimento é feito por poços e pela ETA Uraim. A captação da água dista cerca de 1km da ETA, sendo o manancial superficial o rio Uraim. O índice de atendimento de água para população urbana atinge 90,27%, dos quais cerca de 55% são abastecidos pela ETA Uraim, objeto deste estudo. Sua localização é ilustrada na Figura 4.

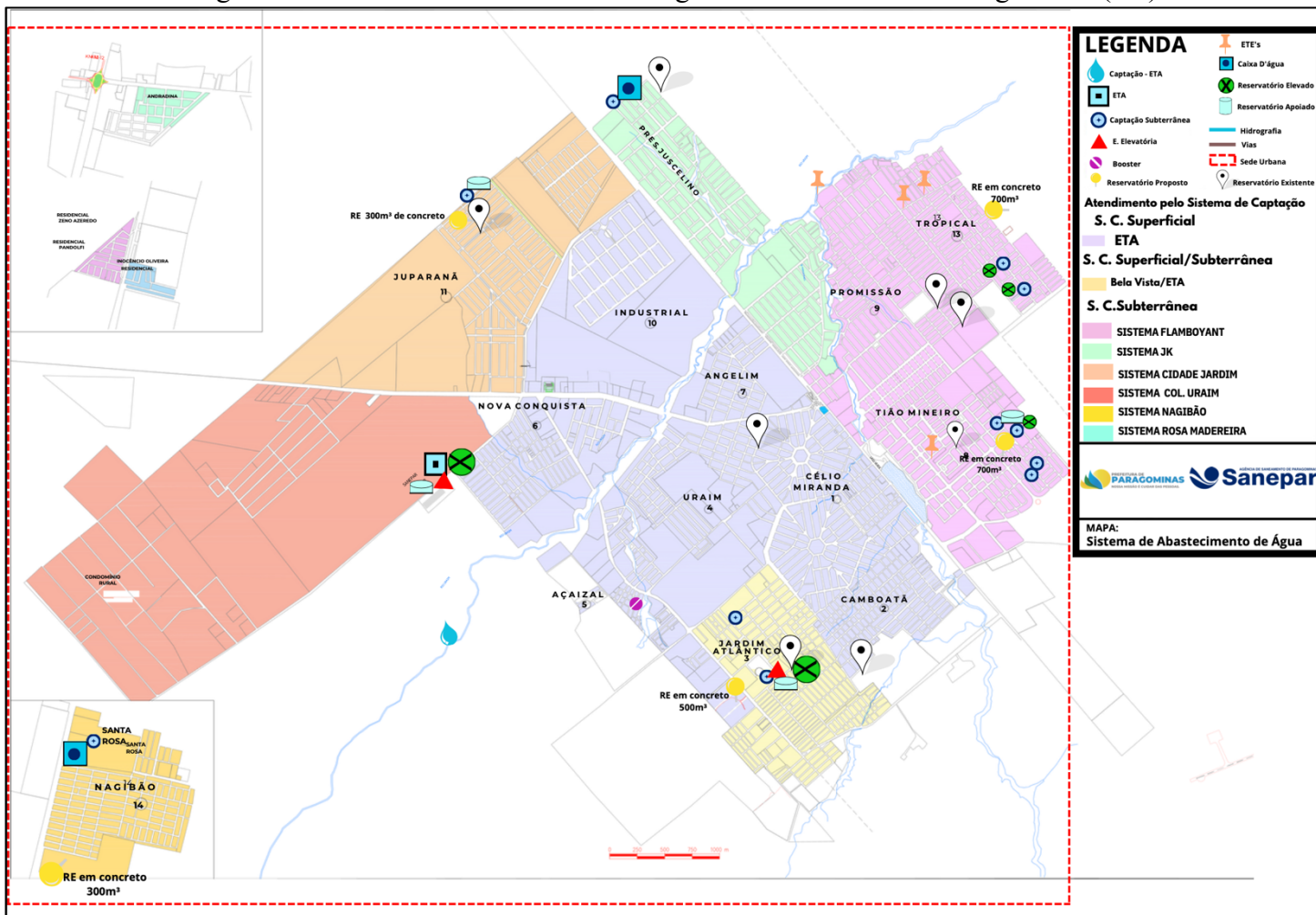
Figura 4– Localização da Estação de Tratamento de Água Uraim em Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria, 2022

O sistema de abastecimento de água da zona urbana de Paragominas é composto por poços e pela ETA Uraim, que abastecem 45% e cerca de 47% da população urbana (Figura 5), respectivamente. A construção da ETA iniciou em 2005 e finalizou em 2009, sendo uma estação de ciclo completo, cujas etapas de tratamento compreendem a coagulação, floculação, decantação/flotação, filtração e desinfecção. A capacidade de tratamento é de 15 milhões L/d (ou 15.000m³/d) e passará a 32 milhões L/d (ou 32.000m³/d) com a recente inauguração do novo módulo ocorrida em agosto de 2025 (Paragominas, 2014; Ministério das Cidades, 2025).

Figura 5 – Sistema de abastecimento de água da zona urbana de Paragominas (PA)



Fonte: Agência de Saneamento de Paragominas, 2025

2.3.2 Identificação dos eventos perigosos, validação de medidas de controle e elaboração do plano de melhorias

Eventos perigosos “equivalem a incidente, situação, ação ou omissão que ocorre em um determinado local, durante um determinado período, que pode introduzir, ou dificultar, ou impedir a eliminação de um perigo ou perigos” para a qualidade da água fornecida por um sistema de abastecimento (ABNT, 2023).

Para cada etapa do sistema a equipe responsável pelo PSA precisa ter compreensão do que pode dar errado em todo o abastecimento de água para garantir que riscos importantes possam ser identificados e gerenciados. Um evento perigoso pode descrever um único evento ou uma série de eventos e o perigo geralmente é expresso como um substantivo ou frase nominal.

A partir da identificação dos eventos perigosos é elaborada a matriz de priorização de riscos (Quadro 1), constituída pela atribuição de valores numéricos para as variáveis de probabilidade e severidade cujo resultado é o produto que determina o nível ou classe de risco, variando de baixo a muito alto.

Para a validação das medidas de controle, é recomendável pela Organização Mundial da Saúde que a descrição dos eventos seja elaborada de acordo com o Quadro 2, que estabelece a origem destes eventos. A partir da origem dos eventos, é possível avaliar se há medidas de controle, e, em caso afirmativo, se tais medidas são eficazes. Os tipos de eventos perigosos são classificados segundo a origem de risco como: A: risco de aceitabilidade; Q: risco químico; M: risco microbiológico; q: risco relacionado à quantidade; R: risco radiológico (WHO, 2023).

Após a priorização dos riscos em escalas de grau baixo a muito alto, são propostos os planos de melhoria para estabelecer o que monitorar, onde, quando, como e a quem delegar tal monitoramento, determinando ainda o limite crítico e a ação corretiva, caso este limite seja violado.

É importante destacar que todas as etapas consideradas neste trabalho e as demais que fazem parte do método recomendado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023) e da Norma Brasileira, que foi feita em consonância com os manuais de segurança da água da OMS, são essenciais para tornar a água potável e segura.

Quadro 1 –Matriz de risco de acordo com a escala de priorização de eventos perigosos

Escala de priorização de eventos perigosos					
Probabilidade	Descrição	Peso	Severidade	Descrição	
Quase certa	Espera-se que se ocorra uma vez por dia	5	Catastrófica	Potencialmente letal para uma grande parte da população	
Muito provável	Vai acontecer provavelmente uma vez por semana	4	Grande	Potencialmente letal para uma pequena parte da população	
Provável	Vai acontecer provavelmente uma vez por mês	3	Moderada	Potencialmente prejudicial para uma grande parte da população	
Pouco provável	Pode ocorrer uma vez por ano	2	Pequena	Potencialmente prejudicial para uma pequena parte da população	
Raro	Pode ocorrer em situações excepcionais (uma vez a cada cinco anos)	1	Insignificante	Sem impacto ou não detectável	
Matriz de classificação de risco					
Probabilidade	Severidade das consequências				
	Insignificante Classificação 1	Reduzida Classificação 2	Moderada Classificação 3	Significativa Classificação 4	Catastrófica Classificação 5
Quase certa 5	5	10	15	20	25
Muito provável 4	4	8	12	16	20
Provável 3	3	6	9	12	15
Pouco provável 2	2	4	6	8	10
Raro 1	1	2	3	4	5
Muito alto: > 15		necessidade de uma ação imediata			
Alto: > 10 a 15		necessidade de especial atenção			
Médio: > 6 a 9		necessidade de atenção			
Baixo: < 6		controlável por meio de procedimentos de rotina			
Grande parte da população:		Maior que 50%			
Moderada parte da população:		Entre 10 e 50%			
Pequena parte da população:		Menor que 10%			

Fonte: Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023)

Quadro 2 – Descrição da origem dos eventos perigosos em sistemas de abastecimento de água

Perigo	Descrição
Microbiológico M	Perigos microbiológicos podem afetar saúde após a exposição de curto prazo. Eles são tipicamente associados ao consumo de água potável contaminada com fezes animais ou humanas (embora possa haver outras fontes e vias de exposição). Doenças infecciosas causadas por patógenos microbianos são os riscos à saúde mais comuns e disseminados associados à água potável. Portanto, sua avaliação e controle deve-se receber a mais alta prioridade pela equipe do PSA.
Químico Q	Constituintes que podem causar efeitos adversos à saúde, normalmente após exposição prolongada (por exemplo arsênio, flúor, chumbo, manganês, nitrato, certos produtos químicos industriais, pesticidas).
Radioativo R	Substâncias (radionuclídeos) que contêm átomos instáveis que emitem radiação e podem representar um risco à saúde humana, normalmente após exposição prolongada
Aceitabilidade A	Aspectos que afetam a aceitação da água pelo usuário (por exemplo, sabor, odor, cor, aparência). Perigos relacionados à aceitabilidade podem minar a confiança do usuário e podem ter implicações negativas indiretas para a saúde; por exemplo, se os usuários rejeitarem a água, poderão recorrer a outras fontes de água potável potencialmente menos seguras.
Quantitativo q	Aspectos que podem afetar negativamente a quantidade de água q disponível para os usuários (por exemplo, quantidade insuficiente de água disponível para necessidades domésticas). Riscos relacionados à quantidade também podem minar a confiança do usuário e afetar a saúde pública; por exemplo, os usuários podem recorrer a fontes alternativas menos seguras ou podem ter água insuficiente para hidratação, cozimento ou higiene básica.

Fonte: Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023)

2.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

É importante destacar que nesta pesquisa o método, de característica qualitativa e quantitativa, possui limitações decorrentes do julgamento ser subjetivo, especialmente nas etapas de avaliação de riscos e priorização de medidas de controle, embora embasado nas visitas técnicas e análise de documentos, planilhas e relatórios produzidos pela gerência de operação da estação de tratamento de água Uraim.

Ademais, a ausência de critérios padronizados e quantitativos advindos da impossibilidade de ensaios de laboratório, hidráulicos e laboratoriais pode comprometer a

objetividade do processo decisório, dificultando a reprodutibilidade dos resultados e a comparação entre diferentes contextos. No entanto, esta pesquisa apresenta, ao mesmo tempo, a importância aos gestores e operadores de sistemas de abastecimento de água de municípios do bioma amazônico, da necessidade de maior controle e eficiência operacional de estações de tratamento de água, não apenas para atender o artigo 49 da Portaria 888/2021 do Ministério da saúde, mas para estar preparado para a gestão de riscos frente às características da água bruta, que podem sofrer alterações advindas da dinâmica de uso das bacias hidrográficas e das mudanças climáticas, que podem gerar cenários atípicos no ambiente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

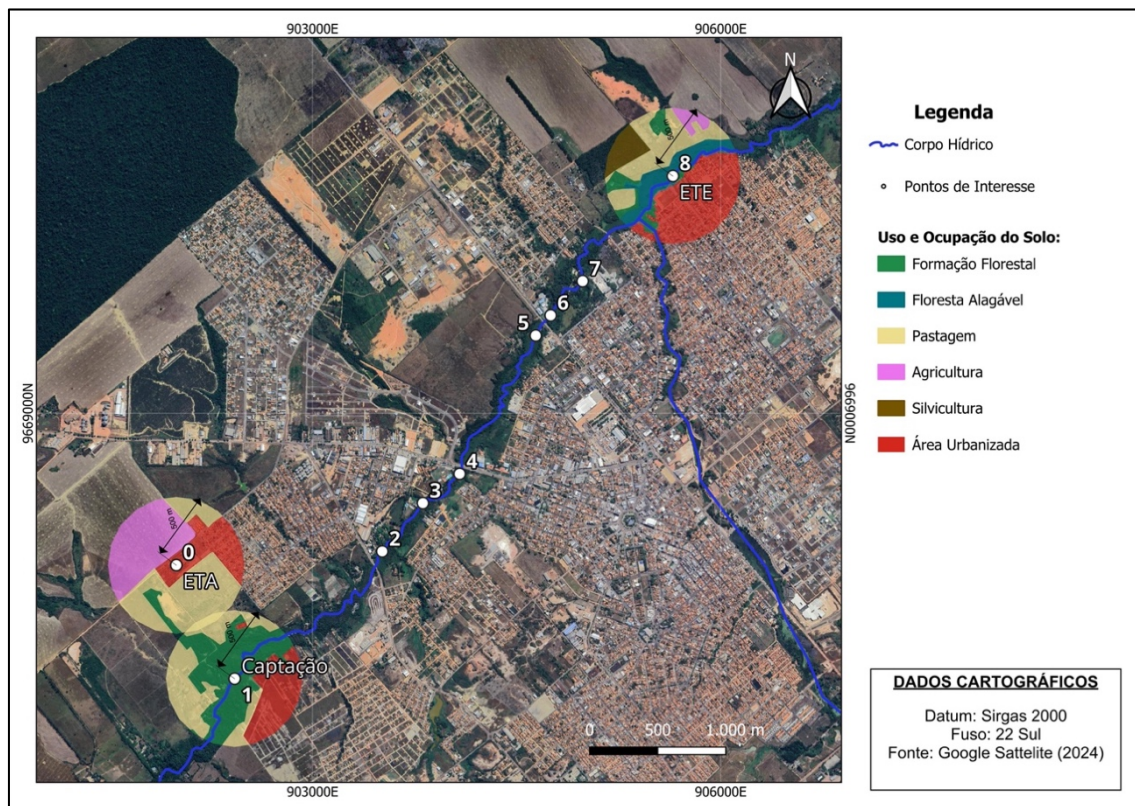
3.1 DIAGNÓSTICO MANANCIAL SUPERFICIAL, CAPTAÇÃO E DA ETA

O manancial de abastecimento utilizado pela Agência de Saneamento de Paragominas é o rio Uraim, cuja microbacia hidrográfica possui o nome deste rio, sendo a mais importante do município devido aos usos múltiplos estabelecidos ao longo de sua extensão. Na outorga de direito de uso do rio Uraim, a vazão concedida é de 14.946,94 m³/d, sendo o ponto de captação localizado nas coordenadas 03°00'22,33" S e 47°22'51,43" W, conforme ilustrado na Figura 6, com a identificação do número 1.

Na área de influência da microbacia do rio Uraim predominam os usos do solo voltados à agricultura, à pastagem e à urbanização. Esses mesmos usos são observados em um raio de aproximadamente 500m ao redor dos principais pontos de interesse: a área de captação, a Estação de Tratamento de Água Uraim (ETA) e a Estação de Tratamento de Esgoto Novo Horizonte (ETE), onde se verificam pastagens, áreas urbanizadas e atividades agrícolas, além de faixa de vegetação preservada. Os pontos 1 a 6 correspondem às visitas realizadas ao longo do trecho entre a ETA e a ETE, destinadas à verificação *in loco* das condições ambientais do rio Uraim, cujo percurso selecionado neste estudo, estende-se desde a captação até a ETE (Figura 6), na zona urbana de Paragominas.

Conforme ilustra a figura 6 e na visita ao manancial, se constatou que, além da possibilidade de lixiviação de dejetos da pastagem, há lançamento clandestino de esgoto doméstico à montante da captação, que pode contaminar as águas do rio Uraim com agentes patogênicos. As faixas de vegetação ao longo deste trecho variam, com pontos, inclusive sem vegetação ciliar.

Figura 6 – Mapa de uso e ocupação do solo ao entorno da Captação, da estação de tratamento de água e da estação de tratamento de esgoto em Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria (2025)

A proximidade de atividades pecuárias às áreas de captação de água representa risco à segurança hídrica, uma vez que fezes de animais homeotérmicos podem veicular protozoários como *Cryptosporidium* e *Giardia*, contaminando os mananciais por escoamento superficial, uso de esterco ou lançamento de efluentes rurais (Dantas, 2021). Esses parasitos, associados a surtos de doenças gastrointestinais em diversas regiões, podem estar presentes inclusive em águas tratadas, evidenciando falhas nos processos de tratamento e a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade da água (Dias, 2008). Considerando seu potencial patogênico e a transmissão pela via fecal-oral, *Cryptosporidium* e *Giardia* configuram-se como importantes agentes de diarreia protozoária e relevantes ameaças à saúde pública (Araújo *et al.*, 2018).

Estudos em bacias brasileiras indicam que a principal fonte de oocistos de *Cryptosporidium spp.* em ambientes hídricos está associada à população animal, uma vez que não foram detectados em amostras de esgoto doméstico. A presença de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* na água do Ribeirão São Bartolomeu, manancial utilizado para o abastecimento público do município de Viçosa (MG), representa um risco potencial à saúde humana (Dias *et al.*, 2008).

Outro agente que pode ser correlacionado à contaminação oriunda de organismos de sangue quente é a bactéria *E. Coli*, que embora possa indicar contaminação fecal geral, não necessariamente sua presença ou ausência prediz, de forma confiável, a ocorrência de *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp.*, conforme apontado em pesquisa realizada em duas fontes de captação de água na região metropolitana de São Paulo (Araújo, 2018).

Ainda neste estudo, a ocorrência de *Giardia spp.* foi maior do que *Cryptosporidium spp.* em água superficial bruta em ambas as fontes de captação. Os cistos de giárdia foram positivos em 100% das amostras do Rio São Lourenço e 60% no reservatório Guarapiranga, enquanto oocistos de *Cryptosporidium* foram encontrados em 40% e 24% dessas amostras, respectivamente (Araújo *et al.*, 2018).

Considerado estes dois estudos em bacias hidrográficas brasileiras, as autoras sinalizaram para o risco potencial para a saúde humana, quanto à presença de *Giardia spp.* e *Cryptosporidium spp.*, enfatizando a necessidade de monitoramento ambiental e aprimoramento do tratamento de água, visto que estes agentes exibem resistência quanto a remoção/ inativação frente ao tratamento convencional de água (Dias *et al.*, 2008, Araújo *et al.*, 2018).

Dada a importância de monitoramento destes agentes, a Portaria GM/MS n.º 888/2021, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5/2017, disciplina os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, e, inclui, entre outros, a análise relacionada a protozoários como cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*

De forma resumida, a portaria determina que no ponto de captação, se a média geométrica móvel de *E.Coli*, analisada nos últimos 12 meses, for maior ou igual a 1000/100 mL, é exigida a avaliação da estação de tratamento de água via monitoramento de esporos de bactérias aeróbias. Se essa avaliação revelar média aritmética igual ou maior a 4 amostras por mês inferior ao log 2,5 (equivalente a 99,7% de remoção), ou seja, os resultados das amostras de água coletadas na estação, não demonstrar essa eficiência mínima, deve ser iniciado o monitoramento mensal de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* por um período de 12 meses no ponto de captação de água (Brasil, 2021).

Para verificar a presença destes microorganismos, a Agência de Saneamento de Paragominas contrata laboratório para coleta e análise de água do seu sistema abastecimento. Dos laudos analíticos cedidos para esta pesquisa, das amostras no ponto de captação de água bruta, referente a janeiro e outubro de 2023, fevereiro, março e setembro de 2024, todos apresentaram resultados de Ausência/100mL para coliforme total, *E. Coli*, *Cryptosporidium* e *Giardia*.

Nestes mesmos períodos, as amostras coletadas para Cianobactérias, cilindropermopsinas, Clorofila A, Microcistinas, Saxitoxinas, apresentaram-se com todos os resultados em conformidade com os valores máximos permitido pela Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde.

É importante destacar que a Portaria 888/2021 determina em seu artigo 42, §1º, que os responsáveis por sistema de abastecimento de água e solução alternativa coletiva devem analisar pelo menos uma amostra semestral de água bruta em cada ponto de captação com vistas a uma gestão preventiva de risco, para os parâmetros: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, cor verdadeira, pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal total e dos parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos exigidos no anexo da portaria (Brasil, 2021).

Durante o período deste estudo somente teve análises para estes parâmetros no ponto de captação, em janeiro de 2023, onde todas as amostras estiveram dentro dos valores máximos permitidos.

Embora os laudos analíticos de janeiro e outubro de 2023 e fevereiro, março e setembro de 2024 tenha indicado a ausência destes protozoários, a periodicidade irregular das análises (5 coletas em 24 meses) representa uma vulnerabilidade crítica do sistema. Segundo van Den Berg *et al.* (2019), a descontinuidade do monitoramento de parâmetros analíticos pode mascarar eventos de contaminação intermitente, em especial em microbacias com atividades agropecuárias ao seu entorno. A Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde, inclusive prevê monitoramento mensal para *E. Coli.* no manancial de captação (Brasil, 2021), requisito que não vem sendo cumprido pela Agência de Saneamento de Paragominas, conforme identificado neste estudo. Essa lacuna operacional evidencia a necessidade urgente de implementação do PSA como ferramenta de gestão preventiva, conforme recomendado por Dantas *et al.* (2021) para sistemas brasileiros.

O conhecimento das características da água bruta é essencial para identificar eventos perigosos, determinar ajustes no processo operacional da estação de tratamento de água e tomar decisões no que tange à gestão de recursos hídricos para propor medidas de controle e de planejamento do uso do solo.

Ademais, quando um município propõe que um plano de segurança de água de seu sistema ou sistemas de abastecimento seja implementado, é importante que na fase de diagnóstico se leve em consideração dados históricos como seca e inundação, a exemplo dos planos implementados no México, Estados Unidos e Espanha. No Brasil, o Plano de Segurança da Água de Caraguatatuba, São Paulo, baseia-se em mapeamentos espaciais e em dados atuais

das atividades que potencialmente afetam a qualidade da água, mas não levam em consideração no mapeamento espacial, os dados históricos, algo que foi apontado como crítica no estudo de comparação deste município com os dos países citados anteriormente. Os autores deste estudo apontam ainda, que para uma ferramenta de apoio à decisão ser eficaz, é essencial que esteja vinculada às políticas e procedimentos formais de governança; caso contrário, tende a se tornar uma atividade meramente burocrática (Neto e Gómez-Martín, 2020).

Portanto mapas de uso e ocupação do solo, avaliação de dados históricos, como ocorrência de inundações, períodos de estiagem, dados fluviométricos do rio Uraim e o monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos precisam ser levados em consideração na fase de diagnóstico em futuras ações que visem a implementação do plano de segurança da água em Paragominas.

Em relação à estrutura da captação de água são descritas a seguir algumas informações. Um canal de aproximação foi executado para ligar a margem esquerda do rio à estação elevatória de água bruta. O canal é trapezoidal tem as seguintes características: talude de 1:1,5, extensão de 12m e profundidade máxima de 4,50m (Paragominas, 2014).

A captação é feita por conjuntos elevatórios submersíveis de eixo vertical, cujas bombas estão em um poço de sucção, que possui grade de barra para a retenção dos sólidos grosseiros e *stop logs* de vedação. Há dois conjuntos motobombas de 200 cavalos de potência, sendo um reserva (Paragominas, 2014).

Para recalcar a água até à estação de tratamento Uraim, são usadas adutoras de água bruta de aço carbono, com diâmetro nominal DN de 600 mm e 1.215 m de extensão. Já a rede de abastecimento de água tem extensão de 330,96 Km (Paragominas 2014; Brasil, 2025).

O sistema de abastecimento conta com uma estação de tratamento de água de ciclo completo, com capacidade para tratar até 180 L/s (15.552m³/d), no entanto com a duplicação da estação Uraim (Figura 7), que foi inaugurada em agosto de 2025 (Ministério das Cidades, 2025), a capacidade, ao iniciar a operação, irá dobrar, e, desta forma, universalizar o atendimento da população urbana.

O tratamento convencional da estação Uraim contempla as seguintes etapas: unidade de mistura rápida, efetuada por uma Calha Parshall, cujo agente coagulante é o policloreto de alumínio, sendo feita a correção do pH com cal hidratada; unidade de mistura lenta, executada por meio de um floculador de chicanas vertical; dois decantadores de alta taxa; quatro unidades de filtro rápido e a desinfecção que ocorre no tanque de contato com o uso de cloro em pastilha e ajuste de pH se necessário.

Figura 7 – Duplicação ETA Uraim



Fonte: elaboração própria, 2024

A estação de tratamento de água Uraim possui instalações em bom estado de conservação, com sinalização e exposição de equipamentos seguindo os padrões técnicos. As unidades operacionais encontram-se íntegras, com revestimentos preservados. A parte hidráulica funciona adequadamente, com base nos resultados dos parâmetros básicos analisados diariamente. As áreas internas e externas mantêm-se limpas e organizadas, favorecendo as condições de operação.

3.2 PRINCIPAIS EVENTOS PERIGOSOS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

Neste tópico serão abordados os eventos perigosos identificados no sistema produtor de água: manancial, captação e estação de tratamento de água do sistema de abastecimento por manancial superficial operado pela Agência de Saneamento de Paragominas. Os eventos perigosos, os tipos de evento, as medidas de controle existente e classificação do risco são ilustrados na Quadro 3.

O evento perigoso é definido como qualquer situação, ação ou omissão que ocorra em um local e período específicos, capaz de comprometer ou dificultar a eliminação de perigos que afetam a qualidade da água distribuída por sistemas de abastecimento. Esses eventos representam potenciais riscos à segurança hídrica e à saúde pública, exigindo identificação e controle no contexto da gestão de riscos (WHO, 2023).

Portanto, identificar o quê, onde e como algo pode dar errado no abastecimento de água precisa de uma descrição concisa e abrangente, para tanto a avaliação dos possíveis perigos em todas as etapas de um sistema de abastecimento são necessárias, ou seja, desde o ponto de captação até o consumidor final, utilizando a abordagem de barreira múltipla para garantir a segurança mesmo se uma barreira falhar (Mierzwa, *et al.*, 2020; WHO, 2023).

Como exemplo, a Diretiva Europeia 2020/2184 estabelece que os Estados-membros adotem uma abordagem integrada e baseada em riscos para garantir a segurança da água, cobrindo todas as etapas do abastecimento — da captação ao ponto de consumo, conforme os princípios do plano de segurança da água (Vieira, 2023).

Nesta pesquisa a avaliação de risco do manancial de captação foi feita baseada nos resultados obtidos no diagnóstico do manancial de abastecimento. Os eventos perigosos são advindos do uso e ocupação do solo, pois no entorno do manancial, conforme descrito no item 3.1, têm-se áreas de pastagem e urbanização, que podem levar riscos à qualidade da água do rio Uraim.

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?			Risco residual					
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
1	Manancial superficial	Pode haver presença de patogênicos pela atividade pecuária (X) devido a lixiviação de dejetos após chuvas fortes (Y)	M	Não há	Análítica	-	☑	-	4	4	16	Muito Alto
2	Manancial superficial	Pode haver presença de agroquímicos (X) devido à aplicação de herbicidas e pesticidas em áreas de pastagem e subsequente carreamento para o leito do rio (Y)	Q	Não há	Análítica	-	☑	-	2	3	6	Médio
3	Manancial superficial	Pode haver contaminação por cinzas, ter a turbidez aumentada (X) devido ao transporte de cinzas pelo vento e ao processo erosivo	A, Q	Não há	Não aplicável	-	-	-	2	3	6	Médio

Legenda – **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023)

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y) (continuação)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?				Risco residual				
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
4	Manancial superficial	Lançamento irregular de efluentes que aumentam MO, DBO, DQO (X) devido a ligações clandestinas no sistema de drenagem e ausência de rede coletora de esgoto (Y)	M	Não há	Analítico	-	☑	-	5	4	20	Muito Alto
5	Manancial superficial	Alteração do regime hidrológico - seca prolongada (X) devido a mudanças climáticas e captação excessiva a montante (Y)	q	É feita diariamente a medição do nível da água do rio	Visualmente, Documental	-	-	☑	2	3	6	Médio
6	Manancial superficial	Desconhecimento das características da água bruta (X) devido a não observância dos requisitos da Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde	Q, M, R	Monitoramento parcial	Analítico, Documental	-	-	☑	2	3	6	Médio
7	Captação	Falha elétrica no sistema de captação (X) devido a interrupção de energia, ausência de gerador (Y)	A, Q, M, q	Não há	Documental	-	☑	-	2	3	6	Médio

Legenda - **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023)

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y) (continuação)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?				Risco residual				
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
8	Captação	Obstrução da grade por detritos, flora e/ou fauna, que reduz a vazão (X) devido a ausência de barreiras físicas, falta de limpeza (Y)	A, Q M, q	Manutenção corretiva	Documental	-	-	☑	3	3	9	Médio
9	Captação	Vandalismo ou furto de componentes elétricos que causa interrompimento da operação (X) devido a falta de vigilância patrimonial	A, Q M, q	Manutenção corretiva	Documental	-	-	☑	2	3	6	Médio
10	Captação	Possibilidade de presença de animais e pessoas (X) devido ao acesso fácil as proximidades da captação (Y)	Q, M, q	A área tem placa de identificação e cerca, mas pode ser acessada sem ser visto por funcionários	Documental, Visual	-	-	☑	4	3	12	Alto

Legenda - **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023)

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y) (continuação)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?			Risco residual					
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
11	Adução de água bruta	Interrupção total e desperdício de água (X) devido ao rompimento da adutora (Y)	A, Q M, q	Não há	Documental	-	☑	-	2	3	6	Médio
12	Coagulação	Dosagem incorreta de coagulante (X) devido a falha de dosadores, erro humano (Y)	M, Q	Há a verificação do pH em testes rápidos, uso do Jar-test	Documental, analítico	-	-	☑	4	3	12	Alto
13	Coagulação	Varição abrupta de pH (X) devido a entrada de efluentes ácidos ou básicos	Q, M	Ocorre parcialmente com a verificação do pH em testes rápidos	Documental, analítico, visual	-	-	☑	4	3	12	Alto

Legenda - **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico.

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023)

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y) (continuação)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?					Risco residual			
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
14	Coagulação	Comprometimento da qualidade da água coagulada (X) devido a falha de dosador, erro humano (Y)	Q M	Uso da bomba reserva quando ao se detectar a falha	Análítico, documental	-	-	☑	2	3	6	Médio
15	Floculação	Tempo de detenção insuficiente(X) devido ao aumento da vazão sem ajuste operacional (Y)	M, Q	Não há	Documental, Visual	-	☑	-	2	3	12	Médio
16	Floculação	Flocos pequenos, instáveis (X) devido ao aumento da vazão sem ajuste operacional (Y)	Q, M	Não há	Documental, Visual	-	☑	-	2	3	12	Médio

Legenda - **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico.

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023).

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y) (continuação)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?					Risco residual			
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
17	Decantador	Aumento do volume de lodo durante o período chuvoso (X) devido a características da água bruta, cuja turbidez eleva significativamente (Y)	Q, M	A descarga de lodo passa para 2 vezes ao dia ao invés de uma descarga no período seco	Documental	☑	-	-	3	2	6	Médio
18	Tratamento do lodo	Contaminação do solo (X) devido a falta de manutenção no leito de secagem (Y)	Q, M	Não há	Visual	-	☑	-	5	2	10	Alto
19	Filtração	Maior uso e manutenção dos filtros durante o período chuvoso (X) devido a características da água bruta (Y)	Q, M	Aumento da dosagem de PAC na unidade de coagulação	Analítico, Documental, Visual,	☑	-	-	3	1	3	Baixo

Legenda - **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023)

Quadro 3 - Eventos perigosos no manancial (raio de 500m) e estação de tratamento de água do Uraim, com descrição do efeito (X) e causa (Y)

Nº	Etapa do processo	Evento Perigoso	Tipo de evento	As medidas de controle existentes são eficazes?				Risco residual				
				Descrição da medida de controle existente	Notas de Validação	Sim	Não	Um pouco	Probabilidade	Severidade	Risco	Nível Risco
20	Lavagem dos filtros	Contaminação do solo (X) devido a falta de manutenção no leito de secagem (Y)	Q, M	O efluente dos filtros é direcionado para os mesmos leitos de secagem do lodo	Visual	-	☑	-	5	2	10	Alto
21	Desinfecção	Possibilidade de falta de atendimento do residual do cloro (X) devido a falha na bomba dosadora (Y)	A, Q, M	Uso da bomba reserva quando ao se detectar a falha	Analítica	-	☑	-	2	3	6	Médio
22	Área da ETA	Possibilidade de presença de animais e pessoas (X) devido ao acesso fácil as proximidades da captação (Y)	Q, M	A área tem placa de identificação e cerca, mas pode ser acessada sem ser visto por funcionários	Visual	-	-	☑	4	3	12	Alto
23	Monitoramento	Desconhecimento das características da água bruta (X) devido a não observância da Portaria 888/2021	A, Q, M, R	O monitoramento é feito parcialmente	Analítica, documental	-	-	☑	3	3	9	Médio

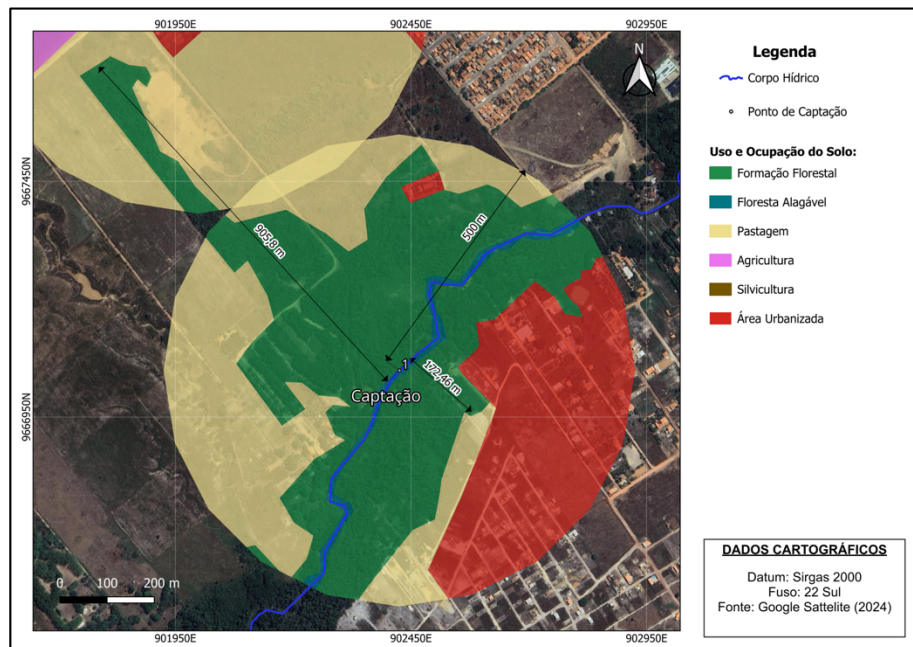
Legenda - **A**: risco de aceitabilidade; **Q**: risco químico; **M**: risco microbiológico; **q**: risco relacionado à quantidade; **R**: risco radiológico

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023)

O mapeamento do uso e ocupação do solo no entorno do manancial e as visitas *in loco* permitiram a identificação formação florestal, pastagem e urbanização. No que se refere a vegetação, é de amplo conhecimento que sua preservação, além de promover a proteção contra processos erosivos, absorve nutrientes e contribui para a diminuição dos efeitos das mudanças climáticas. A formação florestal no entorno do ponto de captação do manancial ocupa na margem direita 172,46m e na margem esquerda 905,8m de extensão, sendo este um fator positivo (Figura 8).

Mesmo com essa faixa de vegetação preservada, foram identificados 6 eventos perigosos no manancial, conforme descrito no Quadro 3, que correspondem ao lançamento de esgoto clandestino a montante da captação, a possibilidade de lixiviação de agroquímicos ou dejetos oriundos da atividade pecuária; a elevação da turbidez advinda de queimadas e processos erosivos são fatores que culminam em eventos que podem contribuir para a degradação das águas do rio Uraim. Nas figuras 9 e 10 se ilustram, respectivamente, a tomada de água e uma residência imediatamente ao lado da captação. Em suma, no raio de 500 no entorno do manancial de captação existem 3 tipos de uso do solo: pecuária, urbanização e vegetação (Figura 8).

Figura 8 – Uso e ocupação do solo no entorno do manancial de captação de água.



Fonte: elaboração própria a partir de dados do Mapbiomas de 2024

Estudos realizados em diferentes bacias hidrográficas brasileiras evidenciam riscos semelhantes aos identificados neste trabalho, bem como outros decorrentes de condições

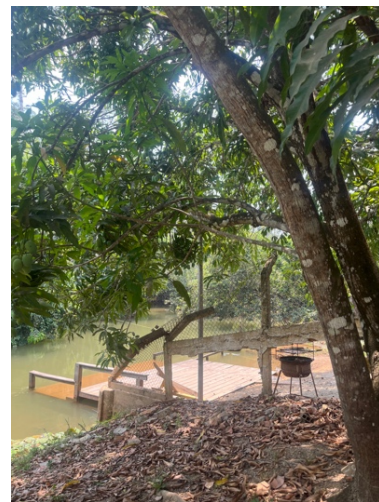
específicas de uso e ocupação do solo em cada região. Esses resultados indicam que a ausência de planejamento urbano integrado e o descumprimento dos preceitos legais favorecem a ocorrência de eventos potencialmente perigosos. Tal constatação é corroborada por pesquisas desenvolvidas nas bacias do Rio Riacho, no Estado do Espírito Santo (Rocha, 2022), e dos rios Monjolinho (Apaza, Ventura e Menezes, 2024) e Corumbataí (Ferro, Ventura e Vaz Filho, 2025), ambos localizados no Estado de São Paulo.

Figura 9 – Poço de sucção da captação de água no rio Uraim



Fonte: elaboração própria, 2024

Figura 10 – Residência ao lado do ponto de Captação



Fonte: elaboração própria, 2024

Neste estudo houve a identificação de 23 eventos perigosos (Quadro 3), dos quais 8 foram classificados com risco alto ou muito alto, corrobora com achados de estudos similares em outras regiões brasileiras. Ferro, Ventura e Vaz Filho (2025), ao analisarem a captação superficial do rio Corumbataí (SP), identificaram eventos críticos relacionados ao uso do solo e falhas operacionais. Rocha (2022) destaca que bacia sob pressão antrópica apresentam padrões recorrentes de eventos perigosos: lançamento de efluentes, turbidez elevada, lixiviação de dejetos animais, entre outros. Apaza, Ventura e Menezes (2024) listaram eventos perigosos tais quais ausência de vegetação ciliar, turbidez elevada, presença de edificações às margens do rio, entre outros. A convergência de resultados reforça a validade da metodologia PSA como ferramenta diagnóstica para sistemas de abastecimento em contextos amazônicos, onde a pressão sobre recursos hídricos tende a se intensificar com as mudanças climáticas (IPCC, 2023).

Na adução foi listado um evento perigoso (Quadro 3), relacionado ao vazamento da linha adutora. Esse tipo de evento advém, principalmente, da falta de manutenção preventiva

nas linhas adutoras. Caso ocorra, a depender da proporção do vazamento, pode desencadear ao desabastecimento de toda população dependente deste sistema.

No ponto de captação de água foram identificados pelo menos 4 eventos perigosos (Quadro 3), como falha elétrica, vandalismo, obstrução da grade protetora, o que permite a entrada de detritos, e presença de animais. A ocorrência destes eventos tem o potencial de afetar a continuidade da operação, alterar a eficiência dos processos unitários de tratamento. Adicionalmente, a intrusão de materiais estranhos e a presença de vetores elevam o risco de contaminação microbiológica da água bruta e a deterioração física das estruturas da tomada de água. Por sua vez, falhas elétricas e atos maliciosos podem induzir danos a equipamentos críticos, culminando no aumento dos custos operacionais e na severa vulnerabilização da segurança da água fornecida à população.

Na unidade de mistura rápida (coagulação), que é feita através de uma Calha Parshall, foram identificados 3 eventos perigosos, voltados a situações em que houve erro na dosagem do coagulante. Já na mistura lenta (floculação), foram identificados dois eventos perigosos que ocasionaram a desestabilização dos flocos (Quadro 3). Os processos de coagulação e floculação são etapas cruciais para a eficiência da clarificação da água nas estações de tratamento. Portanto, os eventos perigosos que levem a erros nas dosagens ótimas e desestabilização dos coágulos precisam ser identificados e sanados. As Figuras 11 e 12 ilustram as unidades de coagulação e floculação da estação de tratamento de água Uraim.

Figura 11– Coagulação em Calha Parshall



Fonte: elaboração própria, 2024

Figura 12 – Floculador no período chuvoso



Fonte: elaboração própria, 2024

Em relação a etapa de decantação, foram identificados 2 eventos perigosos, conforme foi citado no Quadro 3. O primeiro corresponde ao excesso de lodo, recorrente especialmente durante o período chuvoso, em decorrência do aumento de turbidez do manancial. O segundo evento perigoso se refere à ausência de desidratação do lodo nas duas lagoas de decantação, que também recebe o efluente das lavagens dos filtros, como ilustrado nas Figuras 13 e 14, sendo esta última obtida pela autora em novembro de 2018. Tal condição configura uma falha operacional grave, uma vez que a descarga do lodo, conduzida por gravidade até as lagoas, ocorre diariamente no plantão noturno, devido a redução de demanda de água do sistema.

Figura 13– Lagoa de decantação do lodo e efluente dos filtros



Fonte: elaboração própria, 2024

Figura 14 – Lagoa de decantação no ano de 2018



Fonte: elaboração própria, 2018

O lodo gerado em estações de tratamento de água (ETA) caracteriza-se como um resíduo de natureza predominantemente gelatinosa, constituído por hidróxidos metálicos — principalmente de alumínio e ferro — formados a partir do uso de coagulantes, além de partículas inorgânicas, como argila e silte, coloides, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica removida da água bruta ao longo do processo de tratamento. Esse material também pode incorporar impurezas provenientes das formulações dos produtos químicos e de outros aditivos empregados nas diferentes etapas do tratamento, cuja composição e características variam de acordo com as condições operacionais da ETA e com os insumos utilizados (Moreira *et al.*, 2009; Ferreira Filho; Waelkens, 2009).

A ausência de desidratação adequada do lodo nas lagoas de decantação da ETA Uraim, representa um evento perigoso de risco químico e ambiental, tipo Q, conforme WHO (2023). Moreira *et al.*, (2009), demonstraram que lodos de ETA contendo hidróxidos de alumínio e material orgânico, quando inadequadamente dispostos, podem lixiviar metais pesados e compostos orgânicos para as águas superficiais e subterrâneas. A interrupção da desidratação e

envio deste lodo ao aterro de Paragominas há 5 anos configura violação de boas práticas operacionais e descumprimento da legislação ambiental. Rocha (2022) ao avaliar sistemas de abastecimento no Espírito Santo, classificou a gestão inadequada dos resíduos de ETA como falha crítica de controle, recomendando a inclusão de planos de contingência específicos nos PSAs.

Diante do exposto, é recomendado que a Agência de Saneamento de Paragominas faça um estudo de viabilidade técnica nas lagoas ou adote outra tecnologia viável para retomada da desidratação do lodo e realize a caracterização físico-química periódica do lodo para atendimento das normas ambientais e sanitárias.

Na unidade de filtração foram identificados 2 eventos perigosos (Quadro 3), um relacionado a sobrecarga do filtro no período chuvoso, em razão das características da água bruta, ou ainda erro na dosagem do coagulante. O segundo evento, trata-se do efluente de lavagem, que como mencionado anteriormente, segue para a lagoa de decantação (Figura 15) que perdeu a função para a qual foi projetada. Na figura 15 se ilustra a lavagem de um dos 3 filtros da Estação Uraim.

Quanto à desinfecção, foi encontrado um evento perigoso, que pode ser advindo de falhas na bomba dosadora, no entanto existem duas bombas dosadoras, pois uma delas fica como reserva caso tenha algum problema com a que está operando.

No que se refere à área da estação de tratamento de água, o evento perigoso encontrado corresponde a presença de animais domésticos (cães e gatos). Por se tratar de uma área relativamente afastada do centro da cidade, há relatos do abandono de animais às proximidades da estação, e, estes animais acabam por adentrar a área da estação. Embora a gestão da ETA Uraim saiba dos perigos decorrentes da presença destes animais, estes são acolhidos e se aciona organizações não governamentais (ONGs) para o resgate deles para doação.

O último evento perigoso listado trata-se da falta de observância ao plano de amostragem que contemple a frequência, periodicidade, conforme estabelecido pela Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde, o que condiciona ao não conhecimento mais exato das características da água bruta e falta de cumprimento a todos os parâmetros dos anexos da Portaria. O monitoramento é feito parcialmente no manancial e na rede de distribuição, pois não são realizadas todas as análises exigidas na Portaria que estabelece o padrão de potabilidade.

Figura 15 – Filtro sendo lavado



Fonte: elaboração própria, 2024

Nas dependências da estação Uraim, há um laboratório equipado para realizar análises dos parâmetros básicos: cor, pH, turbidez e cloro residual livre. Demais parâmetros físico-químicos e microbiológicos são analisados por laboratório terceirizado. São realizadas análises físico-químicas dos parâmetros básicos que necessitam de menor intervalo de amostragem, a exemplo do cloro residual livre, cuja coleta para análise deve ser feita de 2 em 2 horas na saída do tratamento. O laboratório dispõe de *jar-test*, que embora usado para se testar novos produtos, não faz parte de uma rotina operacional, que poderia minimizar a erro de dosagens de produtos químicos, tempo de detenção, entre outras situações possíveis de serem testadas em escala micro por meio de ensaios.

Em geral, no acompanhamento da rotina operacional, houve a percepção de boas condições estruturais, pinturas, placas de sinalização. Os locais de armazenamento dos produtos são sinalizados e os recipientes com as substâncias químicas são acomodados sob pallets. A Agência de Saneamento de Paragominas possui licença ambiental, outorga da captação superficial, certificado de licenciamento do corpo de bombeiros e licença da vigilância sanitária. A operação da ETA é de 24 horas, com revezamento de turnos entre as equipes.

A estação de tratamento de água segue uma rotina operacional que envolve a documentação dos procedimentos efetuados desde a captação até a saída do tratamento. É feito o controle da quantidade de substâncias utilizadas, que são documentadas em planilhas. As análises de cor, pH, turbidez e cloro residual livre são anotadas diariamente e seus resultados utilizados para o processo de operação da estação. As possíveis falhas operacionais também são documentadas, bem como situações atípicas como queda de energia, vandalismo, entre outros.

3.3 PLANEJAMENTO PARA MELHORIAS

O objetivo do plano de melhorias foi detalhar quais eventos perigosos requerem controle adicional para reduzir os riscos a um nível aceitável. Independente da abordagem adotada para selecionar os eventos perigosos que necessitam ser priorizados, a equipe responsável pela implementação do plano de segurança da água deve concordar e documentar esta decisão. Para eventos perigosos que estão sob controle, não há necessidade de ação adicional, ou seja, de ser traçado planos de melhorias (WHO, 2023).

Portanto, neste trabalho o plano de melhorias estará voltado apenas para os eventos perigosos que foram classificados com risco muito alto e alto, os quais totalizaram 8 eventos. No Quadro 4 se ilustra a etapa do processo, as medidas de controle, o que monitorar, onde monitorar, quando, como, de quem é a responsabilidade, qual o limite crítico e qual a ação corretiva a ser tomada caso os limites sejam violados.

A implementação do plano de melhorias deverá fazer parte da rotina operacional e passar por constante revisão e adequação, quando necessário.

Os planos de melhoria identificam claramente os atores responsáveis pela execução do plano em um prazo claramente definido (Mustapha *et al.*, 2019) e devem ser coerentes com os principais tipos de emergência ou desastres provindos da análise da vulnerabilidade, classificados na matriz de risco (Rocha, 2022).

Pesquisas realizadas após a implementação do Plano de Segurança da Água (PSA) em diferentes países, na Europa e região Ásia-Pacífico, demonstraram redução nos casos de diarreia e indicam que a adoção do plano é potencialmente eficaz na diminuição do risco de doenças gastrointestinais (Vieira, 2023), o que corrobora para a importância da aplicação das propostas de melhorias, dada a importância de tornar a água potável e segura.

Quadro 4 - Proposta de planos de melhoria dos eventos perigosos classificados como muito alto e alto.

Etapa do processo	Medida de controle	O que monitorar?	Onde?	Quando?	Como?	Quem?	Limite crítico	Ação corretiva se os limites forem violados
Manancial superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoramento da qualidade da água, dentro do escopo preconizado pela Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde - Acompanhamento dos resultados analíticos para avaliação estatística e atualização, se necessário, do plano de amostragem junto a autoridade de saúde pública 	Parâmetros físico-químicos, microbiológicos, radiológicos, substâncias orgânicas e inorgânicas, conforme rege a Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde	Ponto de Captação	Semestralmente	Por meio de procedimentos padronizados de coleta, conservação e análise de amostras. Em caso de terceirização de serviço, priorizar laboratórios acreditados com a ISSO/ IEC 17025	SANEPAR ou terceirizados sob supervisão da SANEPAR	Valores máximos permitidos estabelecidos pela Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde	Recomendar alteração de procedimentos na operação da ETA Uraim
	<ul style="list-style-type: none"> - Fiscalização do uso e ocupação do solo - Mapeamento e monitorar os pontos de lançamento clandestino de esgotos 	<ul style="list-style-type: none"> - Dinâmica de alteração da paisagem - Coloração da água, pontos de lançamento clandestino 	Ao entorno de um raio de 500m do manancial	Mensalmente	Através de visitas <i>in loco</i> , mapeamento com imagens de satélite	SEMMA, SANEPAR, Secretaria de obras, Defesa Civil	Visualização de processos erosivos, alteração visual da coloração do manancial	Aplicar as legislações pertinentes
Captação	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento em segurança - Elaboração de plano de atendimento a emergência (PAE) 	Aproximação de pessoas não autorizadas, presença de animais	Toda a área da captação	Diariamente	Com sensores de presença, câmeras e alarmes	SANEPAR, Polícia Militar	Não aplicável	Não aplicável

Fonte: Elaboração própria a partir de WHO (2023).

Quadro 4 - Proposta de planos de melhoria dos eventos perigosos classificados como muito alto e alto.

(continuação)

Etapa do processo	Medida de controle	O que monitorar?	Onde?	Quando?	Como?	Quem?	Limite crítico	Ação corretiva se os limites forem violados
Coagulação	<ul style="list-style-type: none"> - Treinamento os operadores para ensaio de tratabilidade - Utilização do Jar-test como rotina operacional - Monitoramento diário do pH da água bruta 	Dosagem ótima do coagulante e condições ideais de mistura e decantação,	Laboratório de qualidade da água da ETA Uraim	Diariamente	Por meio da adoção de treinamentos de rotina	SANEPAR Universidades	Valores observados na literatura, Portaria e na experiência operacional de clarificação da água	Recomendar alteração de dosagem de coagulantes conforme gráficos de turbidez residual versus dosagem do coagulante
Tratamento de lodo	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterização do lodo - Destinação do lodo desidratado para aterro sanitário - Instalação de poço de monitoramento ao entorno das lagoas para verificar se há contaminação no solo 	- Parâmetros físico-químicos, como pH, metais pesados	Na área onde estão localizadas as lagoas	Imediatamente	<ul style="list-style-type: none"> - Buscando recursos junto ao Governo Federal para execução de uma planta de tratamento - Investir em tecnologias de desaguamento mais modernas (centrífugas, filtros prensa) 	SEMMA, Secretaria de Obras, SEMMA	As condições atuais das lagoas já estão em limite crítico, pois o lodo está sendo apenas acumulado sem destino	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperar as lagoas de decantação - Construir novas lagoas como medida emergencial

Fonte: Elaboração própria a partir de WHO (2023).

Quadro 4 - Proposta de planos de melhoria dos eventos perigosos classificados como muito alto e alto.

(continuação)

Etapa do processo	Medida de controle	O que monitorar?	Onde?	Quando?	Como?	Quem?	Limite crítico	Ação corretiva se os limites forem violados
Lavagem dos filtros	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização da frequência de lavagem (com base na perda de carga e turbidez do efluente do filtro) - Aplicação de tratamento físico-químico - Reaproveitamento da água de lavagem após tratada para novas lavagens dos filtros 	As etapas anteriores quando bem operadas evitam a sobrecarga dos filtros e consequentemente diminui a necessidade de lavagem	ETA Uraim	Diariamente	<ul style="list-style-type: none"> - Por meio da adoção de treinamentos de rotina - Buscando recursos junto ao Governo Federal para execução de uma planta de tratamento - Ajustando dosagem de coagulante 	SANEPAR, Secretaria de obras Universidades	As condições atuais das lagoas já estão em limite crítico, pois a água de lavagem dos filtros são ado sem destino final	<ul style="list-style-type: none"> - Controle do pH da coagulação - Recuperar as lagoas de decantação - Construir novas lagoas como medida emergencial
Área da ETA	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento em segurança - Elaboração de plano de atendimento a emergência (PAE) 	Aproximação de pessoas não autorizadas, presença de animais	Toda a área da captação	Diariamente	Com sensores de presença, câmeras e alarmes	SANEPAR, Polícia Militar	Não aplicável	Não aplicável

Fonte: Elaboração própria a partir de WHO (2023).

3.4 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas já impactam o ciclo hidrológico, com efeitos observáveis em diferentes regiões. Além disso, fatores como transformações demográficas, socioeconômicas, tecnológicas e no uso da terra, especialmente a urbanização e a expansão da irrigação agrícola, influenciam significativamente os sistemas de água doce, aumentando a exposição a riscos climáticos e pressionando a disponibilidade hídrica (WHO, 2017).

Projeções climáticas indicam que o aquecimento global continuará a se intensificar nas próximas duas décadas, impactando diversos componentes dos sistemas climáticos e provocando múltiplas alterações simultâneas em todas as regiões do planeta (IPCC, 2023).

Espera-se que as alterações na disponibilidade e de distribuição de água doce aumente a frequência e a intensidade de desastres relacionados à água, como inundações e secas. Esses eventos extremos representam desafios significativos para a gestão e segurança da água (Allan, Xia, Pahl-Wostl, 2013).

A mudança climática está causando uma mudança nos padrões hidrológicos da Amazônia, levando a secas e inundações mais frequentes e intensas. Essas alterações no regime de fluxo do rio interrompem a navegabilidade, impactam os meios de subsistência e exacerbam a vulnerabilidade das comunidades, especialmente das populações indígenas, destacando a necessidade urgente de estratégias de adaptação (Pinho *et al.*, 2025).

Portanto, na Amazônia brasileira os efeitos das mudanças climáticas sobre as águas já são evidentes e isto afeta diretamente os sistemas de abastecimento. Em 2024, a bacia do Tapajós foi declarada em situação de escassez hídrica pela Agência Nacional das Águas (Agência Brasil 2024; G1a, 2024), enquanto no Amazonas, a seca afetou mais de 747.000 pessoas (G1b, 2024). Paragominas, embora localizada em região com precipitação média de 1.800 mm, não está imune a esses fenômenos: a inundação de abril de 2018 resultou em perda de vidas e comprometimento da infraestrutura urbana (Sardinha *et al.*, 2023; CPM 2018). Esses eventos demonstram que a variabilidade climática na Amazônia está se intensificando, alternando extremos de seca e excesso hídrico, padrão que exige dos sistemas respostas adaptativas.

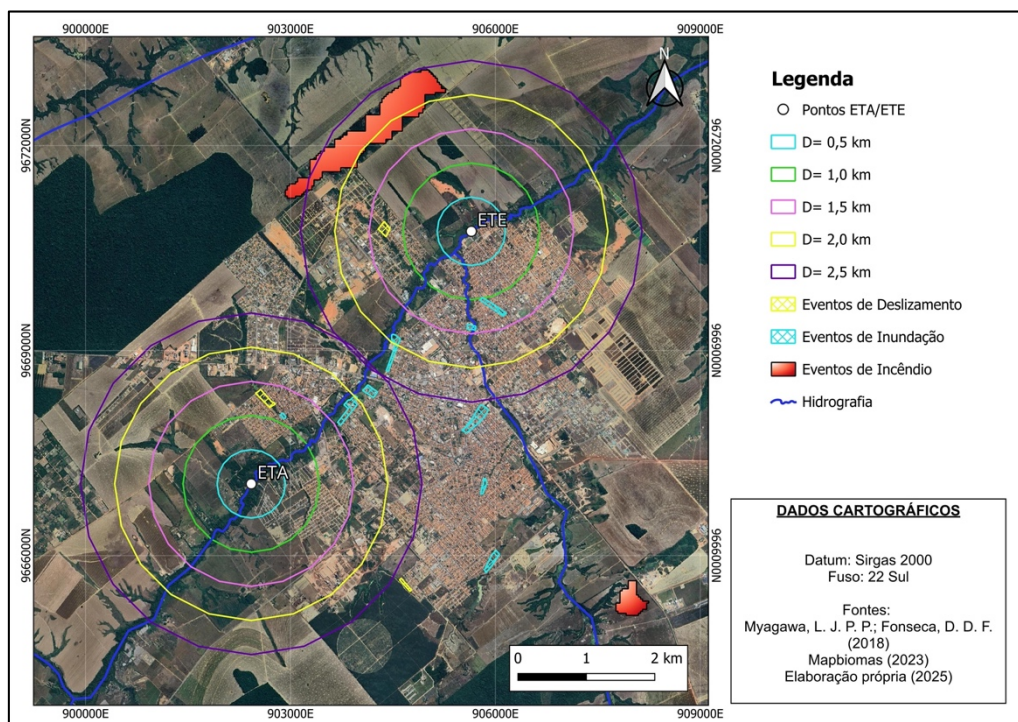
Para amenizar os efeitos causados aos sistemas de abastecimento de água, um estudo feito por uma equipe multidisciplinar, resultou na elaboração de uma matriz de risco do Plano de Segurança da Água, que visou avaliar os impactos climáticos sobre a qualidade e disponibilidade da água potável para a população de Brescia, Itália, onde foram propostas

medidas de controle, como planos de emergência e fontes alternativas de abastecimento, para mitigar os riscos identificados (Biasibetti, *et al.*, 2024).

Estes autores descreveram os principais impactos exercidos no sistema de abastecimento: precipitação excessiva (podem aumentar o escoamento superficial, podendo contaminar fontes de água, interromper o abastecimento devido a inundações na infraestrutura), períodos de seca (diminuição temporária da disponibilidade de água), aumento da temperatura da água (crescimento de patógenos e proliferação de algas), fenômenos geológicos (com aumento da frequência de chuvas há o risco de deslizamento de terra, levando a interrupção ou variação do circuito, ou ainda afetar nascentes, com possibilidade de introdução de poluentes) e aumento de turbidez (Biasibetti, *et al.*, 2024).

O evento de inundação em abril de 2018 no município de Paragominas desencadeou perda de vidas, comprometimento da infraestrutura de parte da zona urbana e de moradias (Sardinha, *et al.*, 2023). Após esta data o serviço geológico do Brasil fez um estudo de setorização de áreas de risco que resultaram em 12 áreas de alto e muito alto risco, entre fenômenos de movimento de massa, enchentes e inundações (CPRM, 2018). A Figura 16 ilustra a área delimitada, os eventos de risco identificados no estudo da CPRM, que consistem em eventos de deslizamento, inundação e incêndio.

Figura 16 – Eventos de risco na zona urbana de Paragominas



Fonte: elaborado a partir do estudo do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018)

Neste sentido, sugere-se que a Agência de Saneamento de Paragominas estabeleça como meta a implementação do plano de segurança da água no seu sistema de abastecimento, que poderá vir a ser iniciado pela zona urbana, pois esta ferramenta traz vantagens tanto para gestão operacional quanto para proteção da saúde pública, conforme as diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde, Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde e pela Norma NBR 17.080 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Entre vantagens da implementação do plano de segurança de água destacam-se a proteção da saúde pública, melhora da gestão operacional, conformidade com as legislações pertinentes, benefícios econômicos e sociais e a capacidade resposta a eventos extremos.

Os eventos extremos podem ser oriundos dos efeitos das mudanças climáticas e trazerem desafios aos operadores dos sistemas de abastecimento de água. Portanto diversos países vêm adotando em seus planos a abordagem que estabelece no diagnóstico e gestão de riscos estes efeitos.

A exemplo de Vanuatu, uma pequena nação insular em desenvolvimento no Pacífico, classificada como a de maior risco para desastres naturais, fornecem uma abordagem estruturada para que as comunidades avaliem as vulnerabilidades relacionadas ao clima e implementem melhorias específicas. Ao integrar previsões de mudanças climáticas e estratégias específicas de mitigação nesses planos, Vanuatu visa construir sistemas de água mais resilientes, capazes de suportar as crescentes transformações na mudança do clima. O estudo enfatiza ainda que à medida que os impactos das mudanças climáticas se tornam mais claros torna-se cada vez mais possível prever os impactos destas mudanças na infraestrutura hídrica e com isso mitigar as consequências (Rand, *et al.*, 2022).

Na província de Bréscia, no norte da Itália, uma equipe multidisciplinar em conjunto com a Universidade de Milano Bicocca desenvolveu um Planos de Segurança da Água com o intuito de minimizar os efeitos das mudanças climáticas, fornecendo uma abordagem estruturada para identificar riscos relacionados ao clima, avaliando sua probabilidade e implementando uma série de medidas de controle, desde fontes alternativas e planos de emergência até atualizações de infraestrutura, tudo dentro de uma estrutura flexível e adaptável (Biasibetti, *et al.*, 2024).

Outro exemplo a ser citado é o Uruguai, onde os planos de segurança da água enfatizam a preparação de planos de contingência para lidar com eventos excepcionais, como inundações, secas, falhas no fornecimento de eletricidade, derramamentos de hidrocarbonetos e proliferação de algas, que geralmente são intensificados pelas mudanças climáticas. Esses planos devem

incluir protocolos, estratégias de comunicação e a instalação de estações de medição para prever níveis e fluxos de água em cenários de mudanças climáticas (Vieira *et al.*, 2023).

Além da relação com os efeitos das mudanças climáticas o plano de segurança da água está integrado aos seguintes objetivos do desenvolvimento sustentável: ODS 6: água potável e segura; ODS 2: fome zero e agricultura sustentável; ODS 3: e saúde e bem-estar; ODS11 cidades e comunidades sustentáveis e ODS13: ação contra a mudança global do clima. O Quadro 5 ilustra estes objetivos do desenvolvimento sustentável e sua relação entre o plano de segurança da água e a governança da água.

Quadro 5 – Objetivos do desenvolvimento sustentável que possuem relação entre plano de segurança da água e a governança da água

Objetivos do desenvolvimento sustentável	Relação do PSA com a Governança da Água
ODS 6 (Água potável e saneamento)	Central: busca garantir acesso universal à água segura até 2030
ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável)	Água segura é essencial para irrigação e produção de alimentos.
ODS 3 (Saúde e bem-estar)	Redução de doenças transmitidas pela água contaminada.
ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis)	Infraestrutura hídrica segura é vital para ambientes urbanos resilientes.
ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima)	PSA incorpora resiliência climática na gestão da água

Fonte: elaboração própria a partir de WHO (2023); ONU Brasil (2023).

A governança da água refere-se às políticas, instituições e práticas que regulam o uso, gestão e proteção dos recursos hídricos. Nesse contexto, desempenha papel central ao articular políticas públicas, atores institucionais e comunidades locais na gestão integrada dos recursos hídricos (Empinotti *et al.*, 2021).

Portanto, a integração entre os Planos de Segurança da Água e os princípios da governança hídrica são essenciais para o avanço sustentável das cidades, especialmente no cumprimento do ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis). A adoção de instrumentos regulatórios, mecanismos de participação social e sistemas de monitoramento transparente são elementos-chave para fortalecer essa agenda.

A implementação do PSA em Paragominas deve transcender o aspecto técnico-operacional e integrar-se aos instrumentos de governança hídrica municipal. Empinott *et al.* (2021) destacam que a efetividade dos planos de segurança da água depende da articulação entre políticas públicas, arranjos institucionais e participação comunitária. No contexto amazônico, onde pressões antrópicas sobre bacias hidrográficas tendem a se intensificar com a expansão agrícola e pecuária (Sardinha; Ventura, 2022), o PSA pode servir como instrumento de integração entre o Plano Municipal de Saneamento Básico e o Plano Diretor Municipal de Paragominas (2023 de 2033), promovendo gestão preventiva e redução de vulnerabilidades. Vieira *et al.* (2023), ao analisarem a experiência uruguaia, demonstraram que a institucionalização do PSA em marcos regulatórios nacionais amplia significativamente a sua efetividade, lição relevante para municípios amazônicos que buscam a universalização do acesso à água segura.

3.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES

Este estudo apresentou limitações metodológicas inerentes à adaptação do método PSA para análise parcial do sistema (manancial, captação e ETA), excluindo a rede de distribuição. A ausência de ensaios laboratoriais específicos para validação quantitativa dos riscos identificados e a subjetividade na atribuição de probabilidades e severidades na matriz de risco constituem limitações reconhecidas. No entanto, conforme apontado por Mustapha *et al.* (2019) e Dantas *et al.* (2021), a fase diagnóstica do PSA (baseada em visitas técnicas, análise documental e experiência dos operadores) fornece subsídios válidos para priorização de investimentos e tomada de decisão.

Em Paragominas, recomendam-se: (1) formação de equipe multidisciplinar envolvendo operadores, gestores municipais, vigilância sanitária e universidades; (2) ampliação do escopo para incluir a rede de distribuição; (3) padronização de protocolos de monitoramento conforme Portaria 888/2021; (4) integração de dados hidrometeorológicos históricos para modelagem de cenários climáticos (Biasibetti *et al.*, 2024); e (5) estabelecimento de indicadores de desempenho para avaliação contínua da efetividade do plano. A experiência internacional (Vanuatu, Itália, Uruguai) demonstra que planos de segurança da água resilientes ao clima exigem revisão periódica e atualização de medidas de controle (Rand *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2023).

4 CONCLUSÃO

Este estudo atingiu seu objetivo ao propor a implementação do Plano de Segurança da Água (PSA) no sistema produtor de água da ETA Uraim, em Paragominas (PA), evidenciando a aplicabilidade da abordagem recomendada pela OMS e pela ABNT para o contexto amazônico. Os resultados corroboram a hipótese de que a aplicação das etapas iniciais do PSA (caracterização do sistema, identificação de eventos perigosos, avaliação de riscos e planejamento de melhorias) permite reconhecer vulnerabilidades críticas e orientar ações prioritárias para mitigação de riscos à segurança da água.

A caracterização do sistema evidenciou a relevância operacional da ETA Uraim para o abastecimento urbano e apontou fragilidades sobre o manancial superficial (rio Uraim), associadas a usos agropecuários e urbanização no entorno, com potencial de comprometer a qualidade da água bruta. Embora laudos analisados tenham indicado conformidade para parâmetros microbiológicos e cianotoxinas nos períodos avaliados, o diagnóstico reforça que a proteção do manancial e o monitoramento sistemático são essenciais para antecipar eventos intermitentes e reduzir a dependência de respostas reativas.

Com a identificação de 20 eventos perigosos no sistema produtor de água, oito foram classificados como risco alto ou muito alto, destacando-se: atividades pecuárias, lançamento clandestino de esgoto a montante da captação; irregularidades no plano de monitoramento em relação à Portaria GM/MS nº 888/2021; manejo inadequado do lodo gerado na ETA; e elevação sazonal da turbidez no período chuvoso, com impacto sobre decantação e filtração. Esses achados reforçam a utilidade do plano de segurança da água como ferramenta estruturante para priorização de medidas de controle e redução de vulnerabilidades operacionais.

O plano de melhorias proposto tem a pretensão de consolidar medidas de controle, rotinas de monitoramento, limites críticos e ações corretivas para os eventos prioritários, além de recomendar sua integração a instrumentos municipais de planejamento e governança (Plano Municipal de Saneamento Básico e Plano Diretor), ampliando a efetividade do PSA ao articular operação, vigilância, gestão ambiental e uso do solo. Adicionalmente, a incorporação de componentes de resiliência climática será estratégica diante da intensificação de extremos hidrológicos na Amazônia Oriental e seus efeitos sobre disponibilidade e qualidade da água.

Entre as limitações, ressalta-se que a análise não contemplou a rede de distribuição e que a avaliação de risco depende de julgamento técnico, sujeito a restrições de validação por meio de ensaios laboratoriais e hidráulicos específicos, além de lacunas nas séries históricas e na periodicidade analítica. Recomenda-se a continuidade do PSA, com ampliação do escopo

para incluir a distribuição; o cumprimento integral do plano de amostragem previsto na Portaria nº 888/2021; o fortalecimento do monitoramento do manancial; o aprimoramento das práticas de manejo e destinação do lodo; e a institucionalização de indicadores de desempenho que permitam revisões periódicas e promovam a melhoria contínua do sistema

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17080**: Plano de segurança da água: princípios e diretrizes para elaboração e implementação. São Paulo: ABNT, 2023. 30p. ISBN: 978-85-07-09497-5.

AGÊNCIA BRASIL. ANA **declara situação de escassez hídrica na bacia do Tapajós**. Rio de Janeiro, 25 set. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2024-09/ana-declara-situacao-de-escassez-hidrica-na-bacia-do-tapajos>. Acesso em: 08 out. 2025.

ALLAN, Catherine; XIA, Jun; PAHL-WOSTL, Claudia. Climate change and water security: challenges for adaptive water management. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 6, p. 625-632, 2013. ISSN 1877-3435. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.004>. Acesso em: 31. dez. 2024.

APAZA, Gabith Sayda Quispe; VENTURA, Katia Sakihama; MENEZES, Denise Balestrero. Análise de riscos ambientais no Rio Monjolinho, São Carlos – SP. São Carlos: **Periódico Técnico-Científico Cidades Verdes**, v. 12, n. 33, p. 197-212, 2024.

ARAÚJO, R.S., Aguiar, B., Dropa, M. et al. Detection and molecular characterization of *Cryptosporidium* species and *Giardia* assemblages in two watersheds in the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Environ Sci Pollut Res** **25**, 15191–15203 (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1620-3>. Acesso em: 11. dez. 2025.

BIASIBETTI, Michela et al. Climate-related risk assessment in water safety plans: the case study of Acque Bresciane (Italy). **Journal of Water and Health**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 97-122, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2166/wh.2023.103>. Disponível em: <https://iwaponline.com/jwh/article/22/1/97/96960/Climate-related-risk-assessment-in-water-safety>. Acesso em: 01. nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS n. 888**, de 04 de maio de 2021. Altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 05 de maio 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Resultados SINISA 2025**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/resultados-sinisa-2025>. Acesso em: 31 dez. 2025.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL. **Relatório de Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações**. Paragominas, 2018. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20404>. Acesso em: 28 set. 2022.

DANTAS A. et al. **Experiências na elaboração de Planos de Segurança da Água no Brasil – Visão da Hidrosan Engenharia**. Revista da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais – Arsae-MG. Vol. 01 – Nº 02 – Julho/Dezembro 2021.

DIAS, G. M. F. et al. Giardia spp. e Cryptosporidium spp. em água de manancial superficial de abastecimento contaminada por dejetos humano e animal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, p. 1291-1300, 2008

EMPINOTTI, Vanessa Lucena et al. Desafios de governança da água: conceito de territórios hidrossociais e arranjos institucionais. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 177-192, 2021.

FACHIN, O. **Fundamentos da Metodologia**. 5 ed. [rev.] – São Paulo: Saraiva, 2006. ISBN 978-85-02-05532-2.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler; WAELKENS, Bárbara Elisabeth. Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 317-326, 2009.

FERREIRA FILHO, D. F.; BEZERRA, P. E. S.; PESSOA, F. C. L. A dinâmica da vegetação e suas influências hidroclimáticas no município de Paragominas-PA. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, p. 46-69, 2021.

FERRO, Luiz Henrique Rosolen; VENTURA, Katia Sakihama; VAZ FILHO, Paulo. Medidas de controle e monitoramento operacional de riscos à segurança da água na captação superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro (SP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 88, 2025. DOI: [10.17271/23188472138820255741](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5741). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5741. Acesso em: 24 out. 2025.

G1. **Seca do Rio Tapajós atinge níveis históricos e afeta comunidades ribeirinhas**. Santarém, 11 out. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2024/10/08/seca-do-rio-tapajos-atinge-niveis-historicos-e-afeta-comunidades-da-ribeirinhas.ghtml>. Acesso em: 31 dez. 2024.

G1. **Seca de 2024 já afeta mais de 747 mil pessoas no AM e supera número de atingidos em 2023**. Amazonas, 30 set. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2024/09/30/seca-de-2024-ja-afeta-mais-de-747-mil-pessoas-no-am-e-supera-numero-de-atingidos-em-2023.ghtml>. Acesso em: 11 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/paragominas.html>. Acesso em: 05 jul. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 09 mar. 2025.

MAPBIOMAS. **Método Cobertura e Uso**. Conheça os passos da metodologia de cobertura e uso da terra. MapBiomas, 2026. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/. Acesso em: 03 mar. 2026.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Novas obras entregues pelo Ministério das Cidades universalizam o abastecimento de água em Paragominas**. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/noticia-mcid-n-1483>>. Acesso em: 01 nov. 2025.

MIERZWA, C.J. **Guia prático para o desenvolvimento de planos municipais de segurança da água** (livro eletrônico) / [coordenadores José Carlos Mierzwa ... (et. al.)] — São Paulo: Editora Limiar, 2020 ePub

MOREIRA, Ricardo Cosme Arraes et al. Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. **Química Nova**, v. 32, p. 2085-2093, 2009.

MUSTAPHA, M.; SRIDHAR, M. K. C.; COKER, A. O.; AJAYI, A.; SULEIMAN, A. Risk assessment from catchment to consumers as framed in water safety plans: a study from Maiduguri Water Treatment Plant, North East Nigeria. **Journal of Environmental Protection**, v. 10, p. 1373-1390, 2019.

NETO, Francisco Fabbro; GÓMEZ-MARTÍN, María Belén. Water safety plan integrated to the land use and occupation measures: Proposals for Caraguatatuba-SP, Brazil. **Land use policy**, v. 97, p. 104732, 2020.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Nações Unidas Brasil, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em: 13 out. 2025.

PARAGOMINAS (Município). **Plano municipal de saneamento básico de Paragominas: Diagnóstico e prognóstico**. 2014. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/12/PLANO-MUNICIPAL-DE-SANAMENTO.pdf>>. Acesso em: 10 Ago. 2025.

PINHO, Patrícia F. et al. Vulnerabilities and compound risks of escalating climate disasters in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, 2025.

PRODANOV C. C.; FREITAS E. C. **Metodologia do trabalho científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. ISBN 978-85-7717-158-3.

RAND, E. C.; Review of water safety planning processes and options for improved climate-resilient infrastructure in Vanuatu. *Water Practice & Technology*, v. 17, n. 3, p. 675-..., 2022. Disponível em: <https://iwaponline.com/wpt/article/17/3/675/86939/Review-of-water-safety-planning-processes-and>. Acesso em: 08 out. 2025.

ROCHA, L.O.D. **O Uso da metodologia do plano de segurança da água com ferramenta para o cumprimento de metas do novo Marco do saneamento em sistemas de abastecimento de água.** 2022. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de desenvolvimento sustentável) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2022.

SARDINHA, Aline Souza; VENTURA, Katia Sakihama. Análise preliminar dos riscos ambientais da Bacia do Rio Uraim, em um Município da Amazônia Oriental. In: **International Workshop for Innovation in Safe Drinking Water.** 2022. p. 61-64.

SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S.; JESUS, E. S.; SILVA, R. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. *Danos socioambientais e urbanos decorrentes de inundações em um município da Amazônia Oriental.* In: **CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 20., 2023,** Poços de Caldas, MG. *Anais..Poços de Caldas: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2023.* v. 15.

van DEN BERG, H. H. J. L. et al. How current risk assessment and risk management methods for drinking water in The Netherlands cover the WHO water safety plan approach. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 222, n. 7, p. 1030-1037, 2019. ISSN 1438-4639. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.07.003>. Acesso em: 17 set. 2025.

VIEIRA, José M.P. A Strategic approach for Water Safety Plans implementation in Portugal. **Journal of Water and Health.** 2011. V. 9, Issue 1, p. 107–116. <https://doi.org/10.2166/wh.2010.150>

VIEIRA, J.M.P *et al.* Implementation of a national regulatory framework for drinking water safety plans in Uruguay. **Journal of Water and Health**, v. 21, n. 10, p. 1448-1459, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **Effective approaches to drinking-water quality surveillance: meeting report, 6-7 May 2015, Oslo, Norway.** Geneva: WHO, 2015. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/181592>. Acesso em: 10. ago. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change.** Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers.** 2. ed. Geneva: WHO, 2023. ISBN 978-92-4-006769-1 (electronic version).

CAPÍTULO IV - Diretrizes para avaliação da resiliência hídrica no contexto amazônico: evidências para a zona urbana de Paragominas (PA)

RESUMO

Este estudo avaliou a resiliência hídrica urbana de Paragominas (PA), município amazônico com 105.550 habitantes, aplicando indicadores quantitativos adaptados do *City Water Resilience Framework* (CWRf). A pesquisa quali-quantitativa, baseada em dados secundários, analisou 16 indicadores distribuídos em quatro dimensões: Liderança e Estratégia, Planejamento e Finanças, Infraestrutura e Ecossistema, e Saúde e Bem-estar, utilizando escala ordinal de 1 (crítico) a 5 (ótimo). Os resultados confirmaram a hipótese de resiliência hídrica assimétrica: 43,75% dos indicadores obtiveram pontuação máxima, concentrados em governança institucional (conselhos ativos, Plano Diretor atualizado) e capacidade econômica (PIB per capita R\$ 50.294,69), contrastando com 25% de indicadores críticos relacionados à provisão de serviços: esgotamento sanitário (13,55%), ausência de Plano de Segurança da Água e déficit de infraestrutura verde-azul. O contraste mais expressivo manifestou-se na dimensão Saúde e Bem-estar: provisão de água potável de 90,27% (superior à média regional de 74,90%) versus cobertura de esgoto de 13,55% (abaixo da média nacional de 68,44%). As representações gráficas radiais evidenciaram polígonos expandidos em dimensões institucionais e contraídos em dimensões operacionais. Os déficits identificados comprometem os ODS 6 (água e saneamento), ODS 11 (cidades sustentáveis – classificação "muito baixo") e ODS 13 (ação climática – 38,19/100). Conclui-se que Paragominas apresenta resiliência predominantemente formal, caracterizada por arcabouço legal robusto que não se traduz em melhorias estruturais efetivas, demandando integração entre capacidade institucional consolidada e investimentos territoriais para redução de vulnerabilidades hídricas, especialmente na universalização do esgotamento sanitário e implementação de soluções baseadas na natureza.

Palavras-chave: Resiliência hídrica urbana; *City Water Resilience Framework*; Amazônia Oriental; Saneamento Básico, Governança Hídrica.

ABSTRACT

This study evaluated urban water resilience in Paragominas (PA), an Amazonian municipality with 105,550 inhabitants, by applying quantitative indicators adapted from the City Water Resilience Framework (CWRF). The quali-quantitative research, based on secondary data, analyzed 16 indicators distributed across four dimensions—Leadership and Strategy, Planning and Finance, Infrastructure and Ecosystem, and Health and Well-being—using an ordinal scale ranging from 1 (critical) to 5 (excellent). The results confirmed the hypothesis of asymmetric water resilience: 43.75% of the indicators achieved maximum scores, concentrated in institutional governance (active councils and an updated Master Plan) and economic capacity (GDP per capita of R\$ 50,294.69), contrasting with 25% of indicators classified as critical, primarily related to service provision, such as sewage coverage (13.55%), the absence of a Water Safety Plan, and deficient green–blue infrastructure. The most pronounced contrast was observed in the Health and Well-being dimension, with potable water coverage reaching 90.27% (above the regional average of 74.90%), while sewage coverage remained at only 13.55% (below the national average of 68.4%). Radar chart representations revealed expanded polygons in institutional dimensions and contracted polygons in operational dimensions. These deficits compromise progress toward SDG 6 (clean water and sanitation), SDG 11 (sustainable cities, classified as “very low”), and SDG 13 (climate action, score of 38.19/100). The study concludes that Paragominas exhibits predominantly formal resilience, characterized by a robust legal and institutional framework that does not translate into effective structural improvements. Addressing this gap requires stronger integration between consolidated institutional capacity and territorial investments, particularly to advance sewage universalization and the implementation of nature-based solutions.

Keywords: Urban water resilience; City Water Resilience Framework; Eastern Amazon; Basic Sanitation; Water Governance.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira, reconhecida por sua elevada biodiversidade e relevância hidrológica em escala global, apresenta paradoxos significativos no que se refere à gestão dos recursos hídricos em áreas urbanas. Apesar da expressiva disponibilidade hídrica regional, municípios amazônicos convivem com vulnerabilidades persistentes relacionadas ao abastecimento de água, à qualidade hídrica, ao saneamento básico e à capacidade de resposta a eventos hidrometeorológicos extremos. Esses desafios refletem-se nos indicadores de saneamento da região, que permanecem entre os mais baixos do Brasil, especialmente no que diz respeito à universalização dos serviços de esgotamento sanitário (Ferreira *et al.*, 2021; Ríos-Villamizar *et al.*, 2017; SINISA, 2023). Tal cenário é agravado por processos de urbanização acelerada, mudanças no uso e cobertura do solo, desmatamento e pressões socioeconômicas que comprometem a sustentabilidade dos sistemas hídricos urbanos (Lense *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2023).

Em escala global, as crises hídricas associadas a secas e inundações figuram entre as principais ameaças para as próximas décadas (Fischer; Sippel; Knutti, 2021). Estima-se que aproximadamente um terço da população mundial viva em áreas sob estresse hídrico, enquanto cerca de 10% estejam concentradas em zonas costeiras de baixa altitude, altamente vulneráveis à elevação do nível do mar e a eventos extremos. A intensificação desses fenômenos climáticos tende a gerar impactos profundos sobre comunidades urbanas, impondo desafios tanto conceituais quanto operacionais, que demandam coordenação interinstitucional e estratégias de longo prazo para o enfrentamento dos riscos hídricos (ARUP *et al.*, 2019).

Nesse contexto, a intensificação das pressões climáticas sobre os sistemas urbanos de água amplia a necessidade de abordagens analíticas capazes de avaliar, antecipar e responder aos múltiplos estresses hídricos (ARUP *et al.*, 2019). Nos municípios amazônicos, tais desafios são ainda mais complexos em função da rápida expansão urbana, da heterogeneidade socioespacial, da expansão agrícola associada a mudanças generalizadas na cobertura do solo, dos baixos índices de saneamento e da dependência direta de ecossistemas naturais para a provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à água (Sills *et al.*, 2015; Nobre *et al.*, 2016).

O município de Paragominas, localizado na Amazônia Oriental paraense, exemplifica esse conjunto de tensões. O crescimento urbano associado à expansão do agronegócio intensificou as pressões sobre a infraestrutura hídrica urbana. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento indicam que, embora o município tenha avançado na ampliação do acesso ao abastecimento de água, persistem deficiências críticas no tratamento de esgoto e

na gestão da drenagem urbana (Brasil, 2025c). Ademais, aproximadamente 45% do território municipal já foi desmatado, com impactos diretos sobre a hidrologia local, a qualidade da água e a capacidade de regulação ecossistêmica (MapBiomas, 2023).

Paralelamente a essas fragilidades estruturais, Paragominas consolidou-se como referência nacional em governança ambiental por meio do Programa Municípios Verdes, demonstrando capacidade institucional para articular políticas de regularização ambiental e redução do desmatamento (Callou, 2017; Oliveira; Gomes; Cabral, 2022). Essa coexistência entre avanços institucionais e vulnerabilidades operacionais torna o município um caso emblemático para a análise da resiliência hídrica urbana em contextos amazônicos.

A resiliência hídrica urbana pode ser compreendida como a capacidade dos sistemas de água de antecipar, absorver, adaptar-se, responder e aprender diante de tensões crônicas e choques agudos relacionados à água (Johannessen; Wamsler, 2017). Essa abordagem ultrapassa concepções tradicionais centradas exclusivamente na infraestrutura física, incorporando dimensões sociais, institucionais, econômicas e ecológicas que condicionam a capacidade adaptativa dos sistemas urbanos (Meerow *et al.*, 2016).

Nesse sentido, a *City Water Resilience Approach* (CWRA), desenvolvida por organizações internacionais como a Arup e o *Stockholm International Water Institute*, constitui uma metodologia estruturada para avaliação e fortalecimento da resiliência hídrica urbana (ARUP *et al.*, 2019). O método organiza-se a partir de ativos sociais, políticos, econômicos, físicos e naturais, propondo um processo sistemático de diagnóstico, avaliação de capacidades, identificação de vulnerabilidades e definição de estratégias de intervenção. Aplicações recentes da CWRA em diferentes contextos urbanos têm demonstrado sua utilidade para o diagnóstico integrado e a priorização de investimentos em resiliência hídrica (Gonzales; Ajami, 2017; Asghari *et al.*, 2023). Destaca-se que a CWRA corresponde ao processo metodológico, enquanto o *City Water Resilience Framework* (CWRf) consiste na estrutura analítica utilizada para orientar e operacionalizar as avaliações e ações propostas (ARUP *et al.*, 2019).

Entretanto, a aplicação desse framework em contextos amazônicos demanda adaptações metodológicas relevantes. As especificidades hidrológicas, marcadas por elevada variabilidade sazonal e dinâmicas fluviais complexas, aliadas à dependência de serviços ecossistêmicos florestais, às desigualdades socioespaciais e às fragilidades institucionais, exigem abordagens sistêmicas capazes de capturar assimetrias entre diferentes componentes dos sistemas urbanos de água.

Diante desse contexto, este estudo aponta o seguinte problema de pesquisa: de que forma a resiliência hídrica se manifesta no contexto amazônico, partindo-se da hipótese de que

municípios como Paragominas apresentam uma resiliência hídrica assimétrica, caracterizada por elevada capacidade institucional-normativa, expressa pela existência de instrumentos legais e instâncias participativas, em contraste com fragilidades no desempenho operacional-estrutural, especialmente no que se refere à cobertura de serviços de saneamento e à conservação de ecossistemas hídricos, configurando um quadro de resiliência predominantemente formal.

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o nível de resiliência hídrica na zona urbana de Paragominas (PA) por meio da aplicação de indicadores quantitativos adaptados a partir do *City Water Resilience Framework* (CWRF), analisando os padrões de desempenho em uma escala de 1 a 5, com vistas a testar a hipótese de assimetria entre capacidade institucional-normativa e desempenho operacional-estrutural.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Paragominas localiza-se na região nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental, posicionando-se entre as coordenadas geográficas de 2°14'24" a 3°49'12" Sul e de 48°52'48" a 46°21'00" Oeste (Figura 1). O município possui área territorial de 19.342,254 km² e população estimada de 105.550 habitantes (IBGE, 2022), dos quais aproximadamente 70% residem na área urbana. A sede municipal situa-se na confluência das rodovias BR-010 (Belém-Brasília) e PA-125, constituindo importante nó logístico regional.

O clima é tropical quente e úmido (Aw segundo classificação de Köppen), com duas estações bem definidas: chuvosa (dezembro a maio) e seca (junho a novembro). A precipitação média anual varia entre 1.700 e 2.000 mm, concentrando-se no primeiro trimestre do ano. Esta sazonalidade influencia diretamente a disponibilidade hídrica e a intensidade de eventos como alagamentos urbanos durante o período chuvoso (Pinto *et al.*, 2009).

O processo de urbanização de Paragominas intensificou-se a partir da década de 1970, impulsionado pela abertura de rodovias e pela expansão da atividade madeireira, posteriormente substituída pela agropecuária e pelo beneficiamento de grãos. Essa dinâmica promoveu uma expansão urbana nem sempre acompanhada por planejamento adequado, o que gerou pressões sobre os recursos hídricos locais e sobre a infraestrutura de saneamento. A rede hidrográfica do município é formada pela Macroregião Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste, onde estão as bacias dos rios Capim e Gurupi, sendo nesta última que se insere a microbacia do rio Uraim, onde está localizada a sede urbana de Paragominas (Paragominas, 2014; Laurent *et*

al., 2017; Assis; Valdambri; Souza, 2024).

A microbacia hidrográfica do rio Uraim possui área aproximada de 5.110,83Km²; abrangendo de 21,75% do território de Paragominas. A vazão média anual é de cerca de 268.423 m³/h (Paragominas, 2014).

Figura 1 – Localização do município de Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria, 2025

2.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O presente estudo enquadra-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quali-quantitativa, fundamentada exclusivamente na utilização de dados secundários, de acordo com a tipologia metodológica proposta por Kauark, Manhães e Medeiros (2010). O delineamento metodológico apresenta caráter exploratório e analítico, sendo estruturado como um estudo de caso em escala municipal.

A estratégia de investigação fundamenta-se na aplicação do framework *City Water Resilience Approach* (CWRA), que permite a avaliação multidimensional da resiliência hídrica por meio de objetivos, sub-objetivos e indicadores padronizados. A unidade de análise corresponde a zona urbana do município de Paragominas, no estado do Pará, considerando o

sistema hídrico urbano e seus componentes institucionais, operacionais e ambientais.

O delineamento envolve a sistematização dos dados em uma matriz de indicadores, a atribuição de pontuações e a análise integrada dos resultados, permitindo a identificação de padrões, fragilidades e potencialidades da resiliência hídrica urbana.

2.3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E ADAPTAÇÃO DO MÉTODO

Foi conduzida revisão de literatura para fundamentar teoricamente a pesquisa e identificar evidências sobre: (i) metodologia *City Water Resilience Approach* e suas aplicações descritas no *City Water Resilience Framework* ocorridas nas cidades de Miami, nos Estados Unidos e Cidade do Cabo, na África do Sul; (ii) desafios de resiliência hídrica em contextos amazônicos; (iii) características do sistema hídrico de Paragominas.

As consultas foram realizadas em bases de dados bibliográficas e plataformas de indexação científica, incluindo Web of Science, SciELO e ScienceDirect, bem como no motor de busca acadêmico Google Scholar, abrangendo publicações nacionais e internacionais.

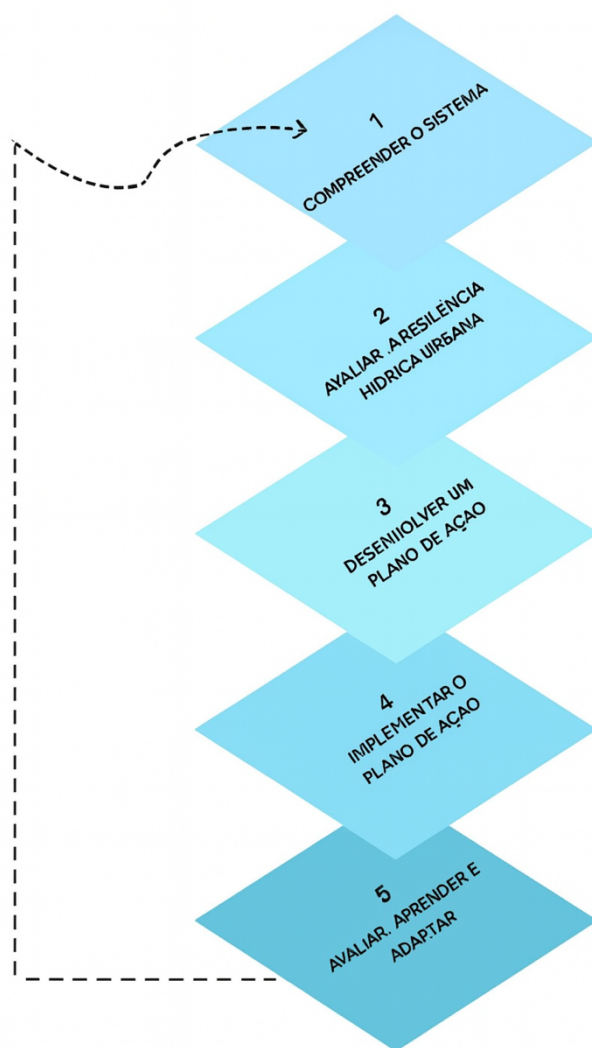
Critérios de inclusão consideraram estudos publicados em português, inglês, francês ou espanhol, com foco em resiliência hídrica urbana, gestão de água ou contextos amazônicos, priorizando publicações entre 2010-2025.

A metodologia *City Water Resilience Approach* (Figura 2) consiste em 5 etapas: compreensão do sistema, avaliação da resiliência hídrica urbana, desenvolvimento do plano de ação, implementação do plano de ação e avaliação, aprendizado e adaptação do método.

O City Water Resilience Framework (CWRF) é uma estrutura específica utilizada no CWRA, particularmente durante a segunda etapa (Figura 2) para avaliar a Resiliência hídrica atual de uma cidade. O CWRF é estruturado em torno de quatro dimensões de alto nível: liderança estratégica, planejamento e finanças, infraestrutura e ecossistema, e saúde bem-estar, que são subdivididas em 12 metas e 53 submetas.

Para este trabalho foi proposto 16 indicadores quantitativos alinhados ao CWRF, distribuídos nas quatro dimensões do framework, conforme indicado no Quadro 1.

Figura 2 – Etapas da metodologia *City Water Resilience Approach*



Fonte: ARUP *et al.*, 2019.

Quadro 1 – Indicadores Quantitativos adaptados do *City Water Resilience Framework* para aplicação na zona urbana de Paragominas (PA)

Dimensão (CWRF)	Meta (CWRF)	Submeta (CWRF)	Indicador (CWRF)	Indicador (variável Paragominas)	Critério de pontuação	Fonte
Liderança e estratégia	Proporcionar liderança e governança para a resiliência hídrica	Liderança política em torno de questões de resiliência hídrica / Governança hídrica	Governança hídrica	Conselho municipal de meio ambiente/ Conselho municipal de saneamento básico	1: Inexistente/ desatualizado 5: atualizado	Instrumentos legais
		Planejamento urbano integrado e alinhamento de políticas	Planejamento estratégico	Plano Diretor atualizado	1: Inexistente/ desatualizado 5: atualizado	Instrumentos legais
		Compreensão e gestão dos riscos climáticos	Risco do Impacto do estresse hídrico	Risco de estresse climático	Pontuação proporcional ao índice	Sistema Oficial do Governo Federal (AdaptaBrasil)
		Alinhamento com as agendas globais de sustentabilidade	Transparência institucional	Pontuação do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades	Pontuação proporcional ao índice	Plataforma do programa cidades sustentáveis (IDSC – BR)
Planejamento e finanças	Assegurar recursos financeiros, instrumentos de planejamento e capacidade institucional suficiente para antecipar, absorver e se recuperar de choques e estresses hídricos	Desenvolvimento e implementação da estratégia hídrica de longo prazo	Planejamento integrado	Existência de PMSB + PMMA	1: Inexistente/ desatualizado 5: atualizado	Instrumentos legais
		Investimento adequado em infraestrutura hídrica	Recursos financeiros para manutenção e conservação da infraestrutura hídrica	Investimento em saneamento (% da população beneficiada)	1: <40%; 2: 40-59%; 3: 60-74%; 4: 75-89%; 5: ≥90%	SINISA INFOSANBAS Matérias/ reportagens
		Sustentabilidade financeira e acessibilidade	Capacidade de financiamento	PIB PER CAPTA	Pontuação conforme padrões nacionais	IBGE
		Acesso a mecanismos de financiamento diversificados e sustentáveis	Captação de recursos externos	Convênios e financiamentos ativos	1: nenhuma; 2-4: moderada; 5: elevada	Portal da transparência Portal da PMP

Fonte: elaboração própria a partir de ARUP *et al.* (2019).

Quadro 1 – Indicadores Quantitativos adaptados do *City Water Resilience Framework* para aplicação na zona urbana de Paragominas (PA) (continuação)

Dimensão (CWRf)	Meta (CWRf)	Submeta (CWRf)	Indicador (CWRf)	Indicador (variável Paragominas)	Critério de pontuação	Fonte
Infraestrutura e ecossistema	Proteger e melhorar os sistemas hídricos naturais	Monitoramento abrangente de riscos e alerta precoce	Monitoramento de recursos hídricos	Nº estações hidrometeorológicas	1: inexistente; 3: básico; 5: completo	ANA / HidroWeb
		Proteção de ecossistemas aquáticos	Proteção de ecossistemas aquáticos	% Floresta preservada na bacia do Uraim	1: <40%; 2: 40-59%; 3: 60-74%; 4: 75-89%; 5: ≥90%	MapBiomas
		Garantia de recurso financeiro adequado ao governo para recuperação de desastre	Garantia de recurso financeiro adequado ao governo para recuperação de desastre	Existência de Leis, Planos, Fundo de recursos	1: Inexistente/desatualizado 5: atualizado	Portal da Transparência, Ministério das Cidades, Plano Diretor
		Integração da infraestrutura verde em áreas urbanas	Infraestrutura verde-azul	% área urbana verde	1: <40%; 2: 40-59%; 3: 60-74%; 4: 75-89%; 5: ≥90%	MapBiomas Urbano / IBGE
Saúde e bem estar	Garantir serviços de água e saneamento seguros confiáveis e acessíveis para todos	Fornecimento de água potável	Provisão de água potável	População urbana com acesso à água potável	1: <40%; 2: 40-59%; 3: 60-74%; 4: 75-89%; 5: ≥90%	SINISA
		Prestação de serviços de saneamento	Provisão de saneamento	População atendida com sistema de esgotamento sanitário	1: <40%; 2: 40-59%; 3: 60-74%; 4: 75-89%; 5: ≥90%	SINISA
		Fornecimento de água potável e segura	Segurança da água	Plano de Segurança da Água implantado	1: não iniciado; 2-4: em desenvolvimento; 5: implementado	Concessionária Local
		Prestação de serviços de saúde física e mental	Serviços de saúde para riscos hídricos	Unidades Básicas de Saúde, Vigilância	1: Inexistente/ 5: existente	DATASUS / IBGE

Fonte: elaboração própria a partir de ARUP *et al.* (2019).

2.4 FONTES DE DADOS SECUNDÁRIOS

As fontes de dados secundários foram selecionadas considerando-se critérios de atualização e disponibilidade pública. As principais bases utilizadas incluem: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - Censos Demográficos 2010 e 2022; Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Adicionalmente foram consultados documentos de planejamento municipal: Plano Diretor Municipal (PDM), Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e outros instrumentos legais do município de Paragominas, além de informações contidas no portal da transparência no site da prefeitura de Paragominas.

Dados ambientais e de monitoramento foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Plataformas Adapta Brasil e Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC-BR).

Os dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Uraim foram obtidos por meio da plataforma MapBiomas e processados no software QGIS 3.34.12. As classes adotadas neste estudo basearam-se na legenda oficial da Coleção 10 do Projeto MapBiomas, cujo mapeamento anual é produzido a partir de imagens da série histórica do satélite Landsat (resolução espacial de 30 m), organizadas em mosaicos anuais na plataforma Google Earth Engine e classificadas por algoritmos supervisionados (MAPBIOMAS, 2026).

2.5 PROCEDIMENTOS DE PONTUAÇÃO DOS INDICADORES E ANÁLISE GRÁFICA

Em relação aos indicadores, cada variável recebeu pontuação na escala ordinal de cinco níveis, variando de 1 (crítico), 2 (baixo), 3 (regular), 4 (bom) e 5 (ótimo), conforme critérios específicos estabelecidos para cada indicador. Esses critérios basearam-se nos limiares sugeridos pela *City Water Resilience Framework* (Quadro 1) na existência ou inexistência de instrumentos legais, percentuais de cobertura, entre outros. Para dados provenientes de bases sintéticas, como o Adapta Brasil e Índice de desenvolvimento sustentável das cidades, a pontuação foi proporcional ao índice já mensurado em ambas as fontes.

Após a atribuição dos escores, os indicadores foram sistematizados segundo as quatro dimensões da resiliência hídrica definidas pelo *City Water Resilience Approach*: Saúde e Bem-Estar, Economia e Sociedade, Liderança e Estratégia, e Infraestrutura e Meio Ambiente. Com isto foi possível elaborar representações gráficas complementares para a análise integrada do

desempenho municipal.

O mapa de calor foi elaborado para evidenciar o comportamento individual dos indicadores, adotando uma escala cromática progressiva associada as pontuações atribuídas, em que 1 corresponde à cor vermelha, 2 à laranja, 3 à amarela, 4 à verde-claro e 5 à verde, permitindo a identificação visual de fragilidades e potencialidades dentro de cada dimensão.

O gráfico de radar foi utilizado como ferramenta de síntese visual do desempenho das quatro dimensões da resiliência hídrica, sendo construído em planilha eletrônica (Microsoft Excel®), a partir da organização dos escores dos indicadores por dimensão da resiliência hídrica. A análise integrada dos dados apresentados no Quadro 1, do mapa de calor e do gráfico subsidiou a interpretação dos resultados.

2.6 LIMITAÇÃO METODOLÓGICA

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas, o *City Water Resilience Framework* aborda aspectos qualitativos e quantitativos por meio de entrevistas e workshops, que são então convertidos em pontuações numéricas usando escalas específicas (a exemplo da escala Likert).

A listagem de todos os indicadores, embora informada no sumário do documento da ARUP *et al* (2019), não está disponível ao público, portanto os indicadores qualitativos e quantitativos para avaliar cada uma das 53 submetas devem ser propostos de acordo com as particularidades da cidade a ser avaliada.

Em um estudo publicado sobre a aplicação do Framework em 4 cidades, a pesquisa propôs nove metas abrangentes e 38 temas específicos que caracterizam a capacidade humana, social e institucional necessária para a resiliência hídrica urbana. Essa estrutura é um resultado direto da análise de dados do envolvimento das partes interessadas nestas cidades do estudo (BRUCE *et al.*, 2020).

Neste artigo, optou-se por escolher quatro submetas de cada dimensão com indicadores secundários de acesso público em consonância com os objetivos da avaliação da resiliência hídrica proposta por ARUP *et al.* (2019) o que culminou em um total de 16 indicadores.

Portanto, as principais limitações metodológicas referem-se à disponibilidade e atualização heterogênea dos dados, à ausência de séries temporais consistentes para alguns indicadores e à necessidade de critérios de pontuação adaptados ao contexto local, o que pode limitar a comparação com outros estudos, ainda assim, possibilita apontar estratégias para melhoria da gestão dos recursos hídricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VISÃO GERAL DA RESILIÊNCIA HÍDRICA

A aplicação da *City Water Resilience Approach* (CWRA), estruturada segundo as quatro dimensões do *City Water Resilience Framework* (CWRf), permitiu, por meio de dados secundários, adaptação de 16 indicadores, estabelecer diretrizes para avaliação da resiliência hídrica urbana de Paragominas (PA).

A resiliência é entendida como a capacidade de um sistema persistir, adaptar-se e transformar-se quando necessário. Aplicado ao contexto urbano, esse conceito refere-se ao desenvolvimento dessas capacidades para enfrentar estresses hídricos crônicos e choques repentinos que podem provocar interrupções generalizadas ou mesmo o colapso de sistemas físicos e sociais. Nesse sentido, a resiliência hídrica urbana expressa a capacidade dos sistemas urbanos de água de antecipar, absorver, adaptar-se e recuperar-se desses impactos, mantendo as funções essenciais ao bem-estar humano e à integridade ambiental, operacional e sanitária. (ARUP *et al.*, 2019; Bruce *et al.*, 2020).

Nesse sentido, os resultados evidenciam um padrão heterogêneo e assimétrico de resiliência, marcado por elevada capacidade institucional e normativa, contrastando com fragilidades (Quadro 2 e Figura 3). Das 16 variáveis analisadas, sete (43,75%) receberam pontuação máxima (cinco), um indicador recebeu pontuação 4 (6,25%), 2 receberam pontuação 3 (12,5%), 2 indicadores receberam 2 pontos (12,5%) e 4 receberam a pontuação 1 (25%). As pontuações foram identificadas em escalas de cores, no qual vermelho indica pior desempenho (1) a verde melhor desempenho (5).

Portanto, nesta amostragem de indicadores deste estudo, constata-se que as maiores pontuações se concentram em instrumentos institucionais, governança e planejamento estratégico, enquanto os menores desempenhos estão associados à de gestão de riscos alinhamento climáticos, à proteção de ecossistemas e à cobertura de saneamento. Esse padrão se aproxima do que descreve ARUP *et al.*, (2019) e Asghari *et al.*, (2023) como resiliência institucionalmente robusta, porém funcionalmente limitada, quando não acompanhada por investimentos territoriais e operacionais.

Quadro 2 – Resultado dos indicadores quantitativos adaptados do CWRF para zona urbana de Paragominas (PA)

Dimensão (CWRF)	Meta (CWRF)	Submeta (CWRF)	Indicador (CWRF)	Indicador (variável Paragominas)	Resultado	Pontuação	Fonte
Liderança e estratégia	Proporcionar liderança e governança para resiliência hídrica	Liderança política em torno de questões de resiliência hídrica / Governança hídrica	Governança hídrica	Conselho municipal de meio ambiente/ Conselho municipal de saneamento básico	Sim	5	Lei Municipal 257/2000 – Cria e regulamenta o CONDEMA Portaria 48/202 – nomeia os membros do COMSAB Lei Municipal 1123/2023 -Institui o PDM, período 2023 a 2033
		Planejamento urbano integrado e alinhamento de políticas	Planejamento estratégico	Plano Diretor atualizado	Sim	5	Lei Municipal 1123/2023 -Institui o PDM, período 2023 a 2033
		Compreensão e gestão dos riscos climáticos	Risco do Impacto do estresse hídrico	Risco de estresse climático	Risco Médio (0,45)	3	Adapta Brasil https://sistema.adaptabrasil.mcti.gov.br
		Alinhamento com as agendas globais de sustentabilidade	Transparência institucional	Pontuação do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades	Muito baixo (38,19/100)	1	IDSC – BR https://idsc.cidadessustentaveis.org.br
Planejamento e finanças	Assegurar recursos financeiros, instrumentos de planejamento e capacidade institucional suficiente para antecipar, absorver e se recuperar de choques e estresses hídricos	Desenvolvimento e implementação da estratégia hídrica de longo prazo	Planejamento integrado	Existência de PMSB + PMMA	Sim	5	Lei 870/2024 – dispõe sobre a PMSB Lei MMA Lei 644/200707- institui a PMMA
		Investimento adequado em infraestrutura hídrica	Recursos financeiros para manutenção e conservação da infraestrutura hídrica	Investimento em saneamento (% da população beneficiada)	55%	2	Portal da transparência SINISA Matérias/ reportagens Investimento de 45 milhões na ampliação do sistema (gov.br)
		Sustentabilidade financeira e acessibilidade	Capacidade de financiamento	PIB PER CAPTA	R\$ 50.294,69	5	IBGE (IGBE Cidades)
		Acesso a mecanismos de financiamento diversificados e sustentáveis	Captação de recursos externos	Convênios e financiamentos ativos	Sim	4	Portal da transparência da PMP

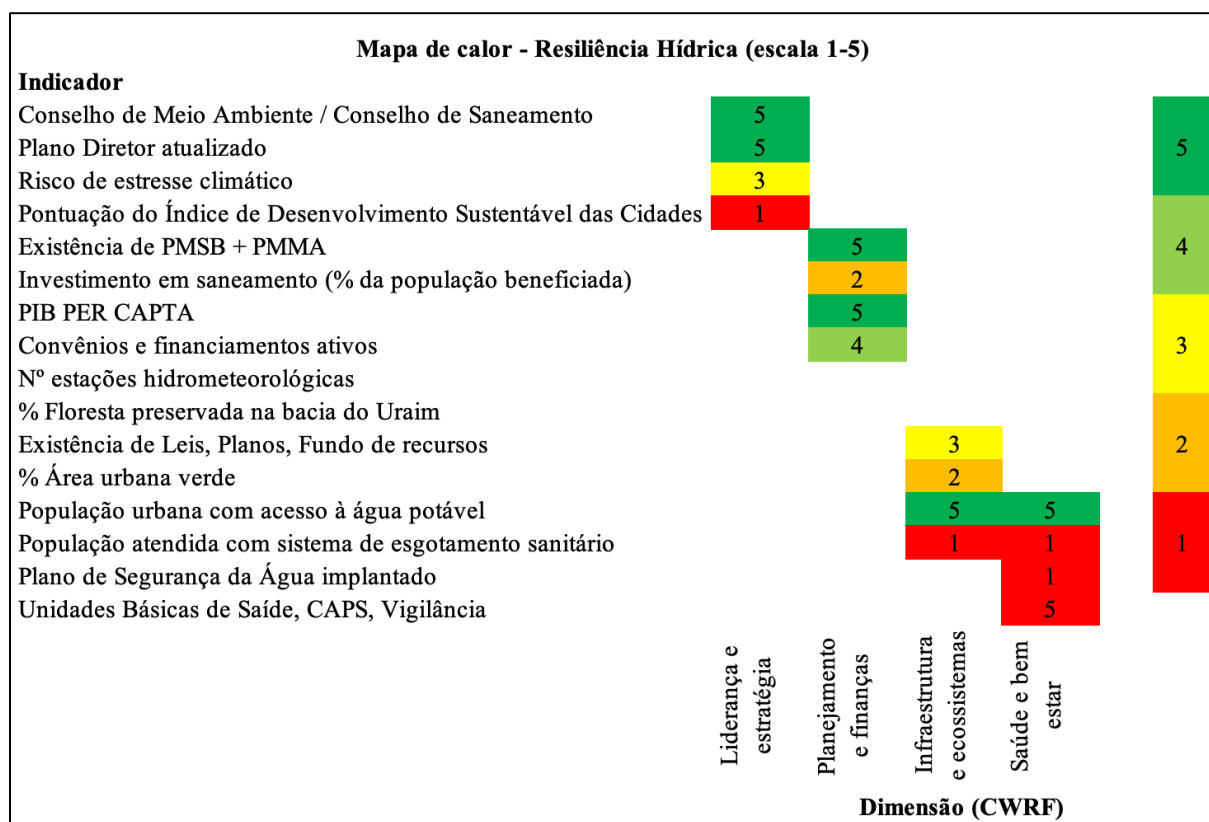
Fonte: elaboração própria, 2025

Quadro 2 – Resultado dos indicadores quantitativos adaptados do CWRF para zona urbana de Paragominas (PA)

Dimensão (CWRF)	Meta (CWRF)	Submeta (CWRF)	Indicador (CWRF)	Indicador (variável Paragominas)	Resultado	Pontuação	Fonte
Infraestrutura e ecossistema	Proteger e melhorar os sistemas hídricos naturais	Monitoramento abrangente de riscos e alerta precoce	Monitoramento de recursos hídricos	Nº estações hidrometeorológicas	4 estações, sendo 1 no rio Uraim	3	ANA / HidroWeb
		Proteção de ecossistemas aquáticos	Proteção de ecossistemas aquáticos	% Floresta preservada na microbacia do Uraim	48,89%	2	MapBiomias
		Garantia de recurso financeiro adequado ao governo para recuperação de desastre	Garantia de recurso financeiro adequado ao governo para recuperação de desastre	Existência de Leis, Planos, Fundo de recursos	Sim	5	Portal da Transparência, Ministério das Cidades, Plano Diretor
		Integração da infraestrutura verde em áreas urbanas	Infraestrutura verde-azul	% área urbana verde	Pouco	1	MapBiomias Urbano / IBGE
Saúde e bem-estar	Garantir serviços de água e saneamento seguros confiáveis e acessíveis para todos	Fornecimento de água potável	Provisão de água potável	População urbana com acesso à água potável	90,27%%	5	SINISA
		Prestação de serviços de saneamento	Provisão de saneamento	População urbana atendida com sistema de esgotamento sanitário	13,55%	1	SINISA
		Fornecimento de água potável e segura	Segurança da água	Plano de Segurança da Água implantado	Não	1	Concessionária Local
		Prestação de serviços de saúde física e mental	Serviços de saúde para riscos hídricos	Unidades Básicas de Saúde, Vigilância	Sim	5	DATASUS / IBGE

Fonte: elaboração própria, 2025

Figura 3 – Mapa de calor dos indicadores de resiliência hídrica da zona urbana de Paragominas



Fonte elaboração própria, 2025

Em relação aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, esse desequilíbrio compromete o ODS 6 (água potável e saneamento) ao limitar a universalização do saneamento e a segurança da água, pois embora a nível urbano a provisão de água atinja aproximadamente 91% da população, não há plano de segurança da água implantado ou em desenvolvimento pela Agência de Saneamento de Paragominas, o índice de perda na distribuição segundo o SINISA (2023) é de 46,22% e a população urbana atendida com esgoto é baixa (13,66%).

Ademais o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) também é comprometido ao evidenciar lacunas na promoção de cidades inclusivas, seguras e resilientes, visto que o índice é avaliado como muito baixo (0-39,99), segundo o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC, 2026).

3.2 DIMENSÃO: LIDERANÇA E ESTRATÉGIA

Esta dimensão concentrou bons resultados ao comprovar que o município possui um arcabouço legal, que dentre outras providências, cria e legaliza a criação do Conselho Municipal de Meio Ambiente (CONDEMA) e o Conselho Municipal de Saneamento Básico (COMSAB), atestando existência formal e funcionamento regular dessas instâncias participativas, portanto foi atribuída a pontuação 5 para o indicador De Paragominas correspondente à governança hídrica (Quadro 2 e figura 3). A presença de conselhos ativos constitui elementos fundamental para auxiliar na governança democrática e controle social das políticas públicas.

A análise documental confirmou que o CONDEMA foi instituído pela Lei Municipal nº 257/2000 e encontra-se ativo, enquanto o COMSAB teve seus membros nomeados pela Portaria nº 48/2021, atestando funcionamento regular dessas instâncias participativas de controle social (Paragominas, 2000; Paragominas, 2021).

Embora existam os instrumentos legais previstos na legislação brasileira, Paragominas não possui Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), porém sem sempre a presença de um CBH se traduz em efetividade na gestão de recursos hídricos. Trindade e Scheibe (2019) em uma revisão integrativa de literatura concluíram que os comitês de bacia apresentam papel estratégico na descentralização da gestão de águas e na promoção da participação pública, no entanto muitos CBHs brasileiros enfrentam limitações institucionais e operacionais que dificultam a efetivação de suas prerrogativas legais e a consolidação de uma gestão hídrica colaborativa e democrática.

Em relação ao indicador planejamento estratégico, a pontuação foi igual a 5 (Quadro 2 e Figura 3), pois há a existência de Plano Diretor Municipal (PDM) atualizado, conforme a Lei Municipal nº 1.123/2023 que instituiu o PDM vigente para o período 2023-2033 (Paragominas, 2023), demonstrando conformidade com as exigências do Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001) quanto à revisão periódica deste instrumento.

Quanto aos indicadores relacionados à compreensão e gestão de riscos climáticos e ao alinhamento com agendas globais apresentaram desempenho regular e crítico, respectivamente, de acordo com o descrito na coluna de pontuação na Quadro 2 e o ilustrado na Figura 3.

A classificação do risco de estresse hídrico com pontuação 3 (média) evidencia que, apesar da governança formal, o município permanece vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, tanto que na ODS 13 (ação climática) o nível de desenvolvimento sustentável é classificado como muito baixo (pontuação 38,19/100), que enfatiza a necessidade de fortalecer a adaptação e a resiliência frente a eventos climáticos extremos, como a chuva intensa ocorrida em abril de 2018 que trouxe danos humanos e materiais em Paragominas (Sardinha *et al.*, 2023).

Esses resultados indicam que a liderança institucional ainda não se traduz plenamente em estratégias adaptativas efetivas no território.

3.3 DIMENSÃO: PLANEJAMENTO E FINANÇAS

A análise da dimensão planejamento e finanças revela arcabouço normativo relativamente robusto, assim como relatado no item anterior, mas com limitações significativas na implementação e capacidade operacional.

O indicador existência de Política de Meio Ambiente e Política de Municipal de Saneamento atingiram pontuação 5 (Quadro 2 e Figura 3). A Lei nº 644/2007 que institui a Política Municipal de Meio Ambiente, apresenta consonância com a política nacional, sendo um instrumento regulador de atividades poluidoras. No PDU, o meio ambiente é definido como fundamental para compatibilizar o desenvolvimento urbano e proteção dos recursos naturais tais quais os rios Uraim e Capim e o Igarapé Paragominas. Quanto à política de saneamento, tem-se a Lei 870/2024 que consta de instrumentos em consonância com a legislação federal (PARAGOMINAS, 2007; PARAGOMINAS, 2023).

Quanto ao indicador sustentabilidade financeira (pontuação 2-baixo) e captação de recursos externos (pontuação 4 - bom) os resultados indicam que há capacidade do município em acessar financiamentos estaduais e federais para projetos de saneamento (Quadro 2 e Figura 3). No segundo semestre de 2025, foi inaugurada a duplicação da estação de tratamento de água Uraim, o que abarcou recursos da ordem de R\$ 45.000.000,00 e beneficiou 55% da população urbana (Ministério das Cidades, 2025), no entanto em outras infraestruturas como coleta e tratamento de esgoto sanitário ainda apresentam baixo índice de atendimento de acordo com os dados do SINISA (Brasil, 2025c).

O indicador capacidade de financiamento (Quadro 2 e Figura 3), mencionado pelo PIB per capita Municipal, obteve pontuação máxima (5) com valor R\$ 50.294,69 (IBGE, 2023) esse resultado posiciona Paragominas significativamente próximo à média nacional (R\$ 51.693,92) e acima do PIB de Belém (R\$ 31,100,18) capital do Estado do Pará, evidenciando a capacidade econômica relativa elevada, associada ao desempenho dos setores madeireiro agropecuário e de serviços em Paragominas.

Em geral a dimensão planejamento e finanças apresenta descompasso estrutural entre a capacidade econômica disponível e a materialização de investimentos em serviços de saneamento, pois a infraestrutura urbana requer projetos que contemplem a resiliência hídrica e que estes sejam acessíveis a toda a população seja ela urbana ou rural. Portanto, os resultados

apontam que ter disponibilidade de recursos financeiros não garante avanços no saneamento ressaltando a importância de mecanismos eficientes de governança priorização e execução de projetos em áreas prioritárias.

3.4 DIMENSÃO: INFRAESTRUTURA E ECOSISTEMAS

Essa dimensão apresentou um dos principais pontos críticos dos indicadores considerados nesta pesquisa. O indicador monitoramento de recursos hídricos, avaliado pelo número de estações hidrometeorológicas na microbacia do Uraim, obteve pontuação 3 (Quadro 2 e Figura 3), caracterizando sistema básico de monitoramento. Dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANAS), disponíveis no sistema HidroWeb, identificaram quatro estações hidrometeorológicas na região de Paragominas, sendo apenas uma localizada especificamente no rio Uraim, único manancial superficial usado para abastecimento urbano.

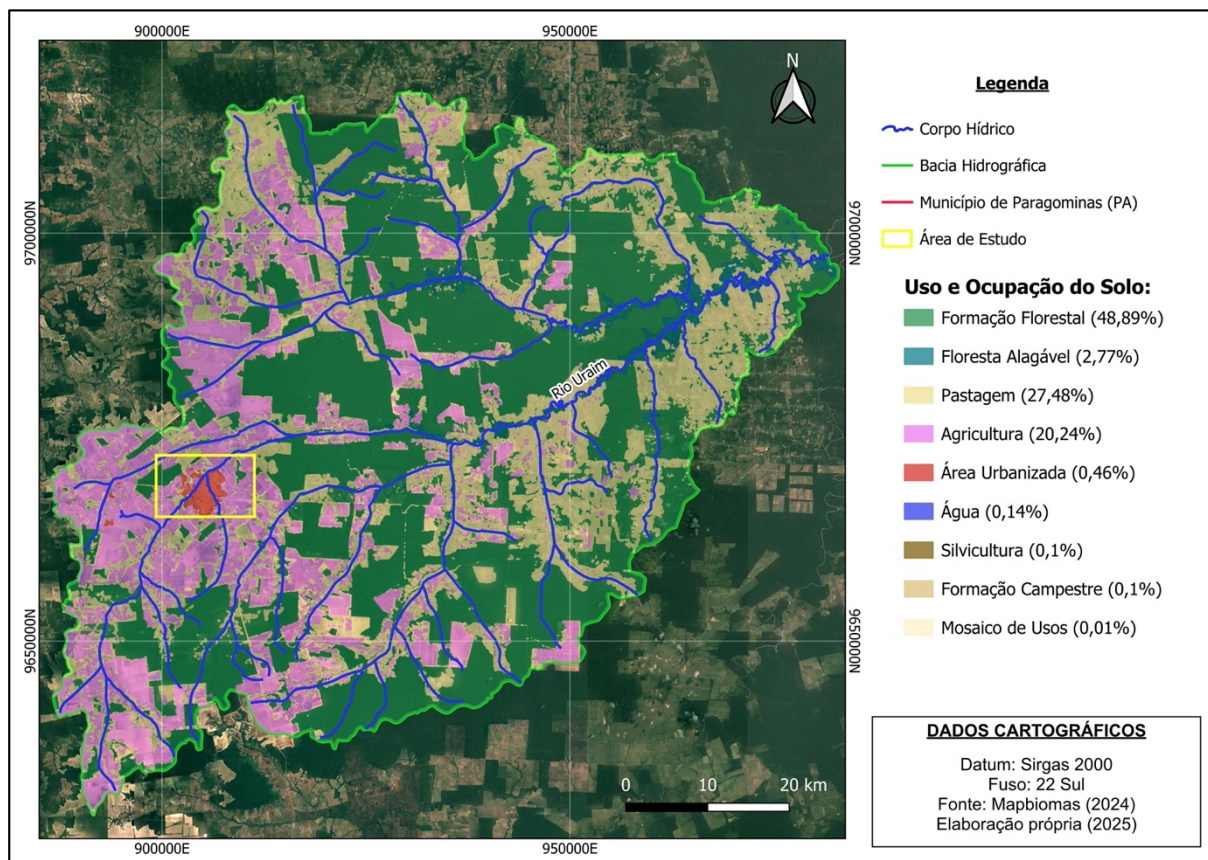
O indicador de proteção dos ecossistemas ficou com a pontuação 2 (baixa), conforme consta na Quadro 2 e Figura 3, em virtude da proporção de cobertura florestal preservada, conforme ilustrada na Figura 4 (mapa de uso e ocupação do solo). Ademais na Seção II, artigos 69 a 75, determinam, entre outras questões, a universalização de coleta e tratamento de esgoto e a priorização de projetos para áreas desprovidas de tais serviços na bacia do rio Uraim, ilustrada no mapa de uso e ocupação do solo. Este fator aliado à ausência de estrutura verde-azul (pontuação 1 -crítica) pode evidenciar vulnerabilidade ecológica na principal área de abastecimento hídrico do município. Em contraste a existência de instrumentos legais e financeiros voltados à recuperação de desastres (Quadro 2 e Figura 3) apresentou pontuação elevada (5) sugerindo uma capacidade predominantemente reativa, não acompanhada por estratégias preventivas baseadas no monitoramento e conservação ambiental.

De fato, o Plano Diretor estabelece diretrizes para ocupação urbana que teoricamente protegem recursos hídricos, incluindo restrições a ocupações em áreas de preservação permanente, de acordo com o estabelecido nos artigos 151 e 152 do PDU (Paragominas, 2023).

Cabe descrever que em visitas realizadas em Paragominas, foi constatado que não há rede própria de monitoramento da qualidade da água no rio Uraim, dependendo de dados esporádicos quando a Agência de Saneamento local faz coleta de água e as envia a laboratório para análises físico-químicas e bacteriológicas. Esta limitação compromete a capacidade de detecção precoce de problemas de qualidade da água e conseqüentemente resposta a eventos perigosos no entorno do manancial, ressaltando que a gestão municipal precisa dar a devida importância ao monitoramento hidrológico e de qualidade das águas da microbacia do rio

Uraim.

Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da Microbacia Hidrográfica do Rio Uraim em Paragominas (PA)



Fonte: elaboração própria, 2025

3.5 DIMENSÃO: SAÚDE E BEM-ESTAR

O indicador provisão de água potável apresentou resultado satisfatório (Quadro 2 e Figura 3) visto que a cobertura de água à população urbana de Paragominas é de 90,27% (Brasil, 2025a), resultando na pontuação máxima (5), portanto Paragominas está próximo da universalização desse serviço com valores percentuais alinhados à média nacional urbana que é de 92,32% e acima da média da região norte que é de 74,90% (Brasil, 2025b). Esse desempenho posiciona o município acima dos padrões regionais e demonstra efetividade no sistema de abastecimento operado pela concessionária local com captação do rio Uraim e tratamento convencional, cujos elevados índices podem contribuir para redução de doenças veiculação hídrica e atende parcialmente as metas da ODS 6 (água potável e saneamento) da Agenda 2030 da ONU.

O indicador provisão de saneamento (Quadro 2 e Figura 3) resultou na pontuação 1 (crítico). A baixa cobertura de esgotamento sanitário implica que aproximadamente 86% da população urbana não possui acesso a coleta e tratamento adequados de esgotos domésticos, dependendo de soluções individuais (fossas sépticas) ou lançamento *in natura* em corpos d'água. Essa situação configura violação do direito humano ao saneamento, reconhecido pela Assembleia Geral das Nações Unidas, Resolução 64/292, 2010, e representa ameaça direta à saúde pública, à qualidade ambiental e à dignidade humana.

As implicações sanitárias incluem elevado risco de doenças diarreicas, parasitoses intestinais, hepatite A e outras patologias de veiculação hídrica, particularmente em populações vulneráveis (crianças, idosos, gestantes). Ambientalmente, o lançamento de esgotos não tratados compromete a qualidade dos corpos d'água receptores, incluindo potencialmente o próprio rio Uraim, criando ciclo de retroalimentação negativa que ameaça a sustentabilidade do abastecimento de água (Correia *et al.*, 2021).

O indicador Segurança da água, avaliado pela existência de Plano de Segurança da Água implementado, obteve pontuação mínima (1), conforme disposto no Quadro 2 e ilustrado na Figura 3, indicando ausência desse instrumento preventivo, contrariando recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS) e diretrizes do Ministério da Saúde brasileiro estabelecidos na Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021 (Brasil, 2021).

O plano de segurança da água constitui abordagem preventiva sistemática para identificação, avaliação e gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água, desde o manancial até o consumidor final (WHO, 2023). Sua ausência implica em gestão predominantemente reativa, baseada em correção de problemas após sua ocorrência, ao invés de prevenção estruturada. Em contextos de degradação ambiental na bacia hidrográfica, como evidenciado pela pontuação 2 em preservação florestal, a ausência de PSA amplifica vulnerabilidades e riscos à qualidade da água distribuída.

O indicador Serviços de saúde para riscos hídricos, operacionalizado pela existência de Unidades Básicas de Saúde (UBS), Centros de Atenção Psicossocial (CAPS) e estrutura de Vigilância Sanitária (Quadro 2 e Figura 3), obteve pontuação máxima (5). Dados do DATASUS e do IBGE confirmam que Paragominas possui rede de atenção básica estruturada, com múltiplas UBS distribuídas na área urbana e rural, além de sistema de vigilância epidemiológica ativo.

Essa capacidade instalada permite monitoramento de doenças de veiculação hídrica, ações de educação sanitária e resposta a surtos epidemiológicos. Contudo, a efetividade desses serviços é comprometida pela persistência dos déficits estruturais em esgotamento sanitário, e,

embora não tenha sido levado em consideração neste estudo, Paragominas tem bons índices de coleta de resíduos universal (Brasil, 2025a) não há tratamento e destinação final ambientalmente adequada para os resíduos sólidos.

3.6 RESILIÊNCIA HÍDRICA E GOVERNANÇA

Estudos atuais sobre infraestrutura hídrica urbana apontam que grande parte dos sistemas foi concebida para condições climáticas que já não correspondem à realidade. Assim, considerar a resiliência se torna essencial para integrar projeções de mudanças climáticas nas decisões de longo prazo, envolvendo capacidade hidráulica, redundância, flexibilidade operacional, sustentabilidade e alinhamento aos objetivos do desenvolvimento sustentável (Ferdowsi *et al.*, 2024).

Nesse sentido estudos discutem que a “resiliência climática do sistema hídrico urbano” é uma variável mediadora entre políticas urbanas/ecossistêmicas e resultados de bem-estar/segurança (por exemplo, planejamento espacial com foco em serviços ecossistêmicos e “cidades-esponja”) (Yuan2025).

A integração de soluções baseadas na natureza são evidências de abordagens como *Sponge City* (China) e infraestrutura verde/azul, com foco em reduzir picos de escoamento, melhorar infiltração, diminuir ilhas de calor e aliviar sobrecarga de drenagem — tudo isso tratado como “resiliência hídrica” porque reduz vulnerabilidade a chuvas extremas e enchentes urbanas (Yuan, 2024).

Diante do exposto a governança adaptativa surge como uma abordagem de gestão flexível, dinâmica e colaborativa essencial para a segurança da água em face dos desafios das mudanças climáticas (Dias; Pessoa; Teixeira, 2022).

Portanto, com a aplicação da metodologia definida pelo ARUP (2019), as cidades têm uma ferramenta capaz de entender o mecanismo da cidade, compreender e identificar os estresses hídricos e propor soluções que possam tornar as cidades mais resilientes, atendendo dessa forma o ODS 11 (comunidade e cidades resilientes), buscar soluções para melhorias do índice do ODS 6 (água potável e saneamento), bem como contribui igualmente para elevação de índices que dizem respeito ao ODS13 (ação climática).

No contexto amazônico, adaptações do método são necessárias. A elevada gama de indicadores, podem não ter ainda como mensurar. Igualmente a provisão de serviços de saneamento têm custos de implantação e operação de sistemas de saneamento elevados devido a: (a) baixa densidade demográfica em muitas áreas; (b) dificuldades logísticas; (c)

necessidades de tratamento mais complexas devido a características dos corpos receptores; e (d) baixa capacidade de arrecadação tarifária (Rezende; Heller; Queiroz, 2009).

Nesta linha, o novo marco legal do saneamento Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020) estabelece metas de universalização até 2033, com 99% de cobertura de água potável e 90% de coleta e tratamento de esgotos. Para Paragominas, atingir essas metas requer mobilização de recursos significativos e modelos de gestão mais eficientes.

Neste estudo um dos contrastes mais crítico identificado refere-se ao saneamento básico. Enquanto o município possui Plano Municipal de Saneamento Básico vigente (pontuação 5), elevado PIB per capita e uma certa estrutura de governança, a cobertura de esgotamento sanitário permanece baixa (12,93%, pontuação 1 crítico). Esse déficit coloca Paragominas significativamente abaixo da média nacional de atendimento urbano, que alcançou 68,44% em 2025 segundo o SNISA (BRASIL, 2025c).

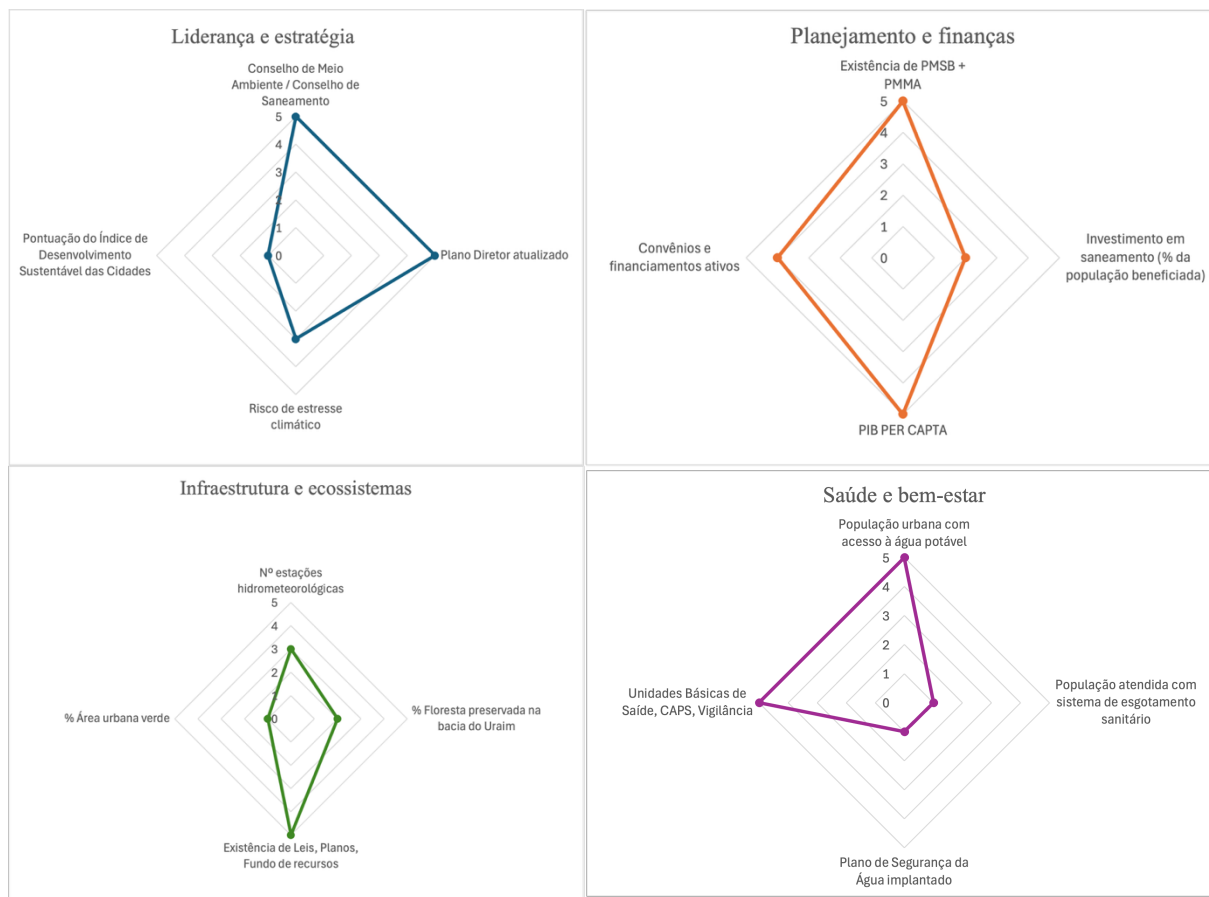
Outros fatores a destacar é a ausência de Plano de Segurança da Água (PSA), a proteção dos ecossistemas aquáticos e a baixa pontuação do índice de desenvolvimento sustentável que agrava o cenário socioambiental de Paragominas.

3.7 ANÁLISE INTEGRADA DO DESEMPENHO DAS DIMENSÕES DE RESILIÊNCIA HÍDRICA

A representação gráfica em formato radial (Figura 5) permite uma análise comparativa e integrada do desempenho de Paragominas nas quatro dimensões do *City Water Resilience Framework*, evidenciando padrões de assimetria, desequilíbrios internos e vulnerabilidades críticas específicas a cada componente da resiliência hídrica municipal corroborando com os resultados apresentados nos itens 3.2 a 3.5.

A dimensão Liderança e estratégia (Figura 5) apresenta configuração relativamente equilibrada, com polígono tendendo ao formato losangular, o que indica desempenho elevado nos indicadores de governança institucional. Os indicadores Conselho de Meio Ambiente/Conselho de Saneamento e Plano Diretor atualizado atingem pontuação máxima, refletindo a consolidação de instrumentos participativos e de planejamento urbano.

Figura 5 – Gráfico radial das 4 dimensões de resiliência hídrica: Liderança e estratégia, Planejamento e finanças, Infraestrutura e ecossistemas e Saúde e bem-estar



Fonte: elaboração própria, 2026

Em contraste, observa-se retração nos indicadores Risco de estresse climático Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades, configurando assimetria interna que revela dificuldades na conversão da governança formal em estratégias efetivas de adaptação climática. Esse padrão é consistente com a classificação “muito baixa” no ODS 13, evidenciando fragilidade na implementação de políticas climáticas robustas.

A dimensão Planejamento e finanças (Figura 5) exhibe polígono radial com três vértices externos robustos e um vértice contraído, configurando padrão gráfico de losango assimétrico que evidencia dualidade entre capacidade potencial e execução efetiva.

Os indicadores Existência de Plano de Saneamento, política ambiental e PIB per capita atingiram a pontuação máxima, o que indica capacidade econômica e conformidade legal para o planejamento setorial. Entretanto, o indicador Investimento em saneamento apresenta pontuação crítica (2), formando o vértice mais contraído do polígono radial. A população

beneficiada com a obra de duplicação da ETA foi de 55% da população urbana, evidenciando descompasso estrutural entre capacidade econômica disponível, existência de planos setoriais, acesso a financiamentos e materialização territorial de investimentos. Esse padrão gráfico ilustra visualmente o fenômeno identificado nos resultados de que a disponibilidade de recursos financeiros não garante avanços no saneamento, o que sugere limitações em mecanismos de governança, previsão orçamentária e execução de projetos em outras áreas de saneamento.

A dimensão Infraestrutura e ecossistemas (Figura 5) apresenta a configuração gráfica mais irregular entre as quatro dimensões avaliadas, com um polígono radial assimétrico e contraído. O indicador Existência de Leis, Planos, Fundo de recursos alcança pontuação máxima (5), formando o único vértice externo do polígono, em contraste acentuado com os demais indicadores, que variam entre pontuações críticas e intermediárias.

O indicador porcentagem de área urbana verde apresenta pontuação mínima (1), configurando contração do polígono nesse vértice, o que evidencia déficit crítico em infraestrutura verde-azul no perímetro urbano. A ausência de soluções baseadas na natureza compromete a capacidade municipal de gestão de águas pluviais. Essa lacuna deve ser considerada nas projeções de intensificação de eventos climáticos extremos na Amazônia.

Os indicadores número de estações hidrometeorológicas e porcentagem de Floresta preservada na bacia do Uraim apresentam pontuação intermediária (3), formando vértices de tamanho moderado. A presença de apenas quatro estações hidrometeorológicas na região, sendo uma no rio Uraim, caracteriza sistema básico de monitoramento com capacidade limitada para modelagem hidrológica, previsão de eventos extremos e gestão adaptativa. A cobertura florestal é essencial para manutenção de serviços ecossistêmicos hidrológicos, portanto, configura vulnerabilidade estrutural crítica para a segurança hídrica de longo prazo.

A configuração gráfica irregular, com um vértice máximo (arcabouço legal), contrastando com vértices mínimos e intermediário (estrutura verde-azul e manutenção de vegetação), ilustra o padrão de resiliência formal característico desta dimensão: existência de instrumentos legais não acompanhada por ações territoriais preventivas e conservacionistas.

A dimensão Saúde e bem-estar (Figura 5) apresenta a configuração gráfica mais contrastante de todas as dimensões analisadas, com formato triangular assimétrico, caracterizado por dois vértices externos robustos e dois vértices retraídos no centro do gráfico radial. Esse padrão visual evidencia o contraste mais crítico identificado em todo o estudo.

O indicador População urbana com acesso à água potável atinge pontuação máxima (5), formando o vértice superior mais proeminente do polígono. Similarmente, o indicador Unidades Básicas de Saúde, Centro de Atenção Psicossocial (CAPS), Vigilância Municipal

obtem pontuação máxima (5), formando o vértice lateral esquerdo do triângulo. A estrutura de atenção básica à saúde, com múltiplas UBS distribuídas territorialmente e sistema de vigilância epidemiológica ativo, atesta capacidade instalada para monitoramento de doenças de veiculação hídrica e resposta a surtos epidemiológicos.

Referente aos indicadores População atendida com sistema de esgotamento sanitário e Plano de Segurança da Água implantado recebem pontuação mínima (1), configurando os dois vértices próximos ao centro do gráfico radial. A cobertura de esgotamento sanitário de apenas 13,55%, com 86,45% da população urbana dependendo de soluções individuais (fossas sépticas) ou ainda despejando esgoto in natura nos recursos hídricos que representa o pior desempenho identificado entre todos os 16 indicadores avaliados. A ausência de Plano de Segurança da Água, contrariando recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) e diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021, caracteriza gestão predominantemente reativa ao invés de preventiva estruturada.

A configuração triangular assimétrica do gráfico radial ilustra visualmente a contradição desta dimensão: excelente provisão de água potável e capacidade instalada de serviços de saúde coexistindo com déficit crítico em esgotamento sanitário e ausência de gestão preventiva de riscos hídricos. Esse padrão compromete a efetividade dos serviços de saúde existentes, que atuam neste cenário de forma terapêutica, ou seja, tratando doenças de veiculação hídrica, sem que haja investimentos preventivos suficientes em infraestrutura sanitária para eliminação das causas estruturais dessas patologias.

4 CONCLUSÃO

Os resultados confirmam a hipótese de resiliência hídrica assimétrica em Paragominas. Dos 16 indicadores analisados, 43,75% obtiveram pontuação máxima (5), concentrados em governança institucional (CONDEMA e COMSAB atuante, Plano Diretor atualizado) e capacidade econômica (PIB per capita R\$ 50.294,69), enquanto 25% receberam pontuação crítica (1), associados à provisão de serviços: esgotamento sanitário 13,66%, ausência de Plano de Segurança da Água e infraestrutura verde-azul deficitária. Essa assimetria configura resiliência predominantemente formal, na qual arcabouço legal robusto não se traduz em melhorias operacionais estruturais.

O contraste crítico manifesta-se na dimensão Saúde e bem-estar: provisão de água potável alcança 90,27%, pontuação 5, superior à média regional de 74,90%, enquanto esgotamento sanitário permanece em 13,66% (pontuação 1, abaixo da média nacional de

68,4%). O investimento de R\$ 45 milhões na duplicação da ETA (beneficiando 55% da população urbana) não foi acompanhado por expansão proporcional do esgotamento sanitário, evidenciando que capacidade econômica e instrumentos de planejamento não garantem universalização do saneamento. As representações gráficas radiais corroboram essa assimetria: dimensões institucionais, Liderança e Planejamento apresentam polígonos expandidos, contrastando com dimensões operacionais Infraestrutura e Saúde, irregulares e contraídas.

A resiliência predominantemente formal compromete os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: ODS 6 limitado pela baixa cobertura de esgoto, perdas de 46,22% e ausência de PSA; ODS 11 classificado como "muito baixo" (IDSC 0-39,99); e ODS 13 em 38,19/100, com vulnerabilidade a eventos climáticos extremos. Paragominas desenvolveu capacidades institucionais robustas que ainda não se converteram em resiliência operacional efetiva, dependendo de transformações que integrem governança consolidada com investimentos territoriais que efetivamente reduzam vulnerabilidades hídricas.

REFERÊNCIAS

ARUP; STOCKHOLM INTERNATIONAL WATER INSTITUTE; THE RESILIENCE SHIFT; 100 RESILIENT CITIES; ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *City Water Resilience Approach*. [S.l.: s.n.], 2019. 64 p. Disponível em: <https://www.arup.com/globalassets/downloads/insights/c/city-water-resilience-approach/city-water-resilience-approach.pdf> Acesso em: 10 ago. 2025.

ASGHARI, F.; PIADDEH, F.; EGYIR, D.; YOUSEFI, H.; RIZZUTO, J. P.; CAMPOS, L.C. Resilience assessment in urban water infrastructure: a critical review of approaches, strategies and applications. *Sustainability*, v. 15, n. 14, p. 11151, 2023.

ASSIS, N.R.; VALDAMBRINI, B.; SOUZA, A.M. **PARAGOMINAS-PA e a crise ambiental na Amazônia: uma experiência bem-sucedida do planejamento municipal.** *Caderno Prudentino de Geografia*, [S. l.], v. 2, n. 46, p. 204–223, 2024.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm. Acesso em: 01 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera diversas leis relacionadas ao setor. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 11 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor

sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Resultados SINISA 2025**. Publicado em 23 dez. 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/resultados-sinisa-2025>. Acesso em: 26 dez. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Indicadores SINISA – Módulo Água**. 2025b. Disponível em: <https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/dashboard?modulo=agua>. Acesso em: 06 jan. 2026. Relatório de indicadores de módulo de água 2024 ano base 2023

BRASIL. Ministério das Cidades. **Indicadores SINISA – Módulo Esgoto**. 2025c. Disponível em: <https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/dashboard?modulo=esgoto>. Acesso em: 06 jan. 2026. Relatório de indicadores de módulo de ESGOTO 2024 ano base 2023

BRUCE, A. *et al.* Human dimensions of urban water resilience: Perspectives from Cape Town, Kingston upon Hull, Mexico City and Miami. **Water Security**, v. 9, p. 100060, 2020. DOI: 10.1016/j.wasec.2020.100060.

CALLOU, R.N.C. **O sonho de fundação de Paragominas-PA e o projeto nacional-desenvolvimentista na Amazônia**: memórias, narrativas e identidades. 2017. 101p. Dissertação (mestrado em Linguagens e Saberes na Amazônia). Universidade Federal do Pará. Campus de Bragança, 2017.

CORREIA, Catherine Veloso et al. Doenças de veiculação hídrica e seu grande impacto no Brasil: consequência de alterações climáticas ou ineficiência de políticas públicas?. **Brazilian Medical Students**, v. 5, n. 8, 2021.

DIAS, Eric Mateus Soares; PESSOA, Zoraide Souza; TEIXEIRA, Rylanneive Leonardo Pontes. Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido. **Mercator (Fortaleza)**, v. 21, p. e21025, 2022.

FERREIRA, S. J. F.; PINEL, S.; RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; PIEDADE, M. T. F.; CANTO, O.; LUZ, S. L. B. Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 12, p. 1-13, 2021.

FERDOWSI, Ahmad; PIADEH, Farzad; BEHZADIAN, Kourosh; MOUSAVI, Sayed-Farhad; EHTEHAM, Mohammad. Urban water infrastructure: A critical review on climate change impacts and adaptation strategies. **Urban Climate**, v. 58, p. 102132, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095524003298>>.

FISCHER, E.; SIPPEL, S.; KNUTTI, R. Increasing probability of record-shattering climate extremes. **Nature Climate Change**, v. 11, p. 689-695, 2021.

GONZALES, P.; AJAMI, N. K. An integrative regional resilience framework for the changing urban water paradigm. **Sustainable Cities and Society**, v. 30, p. 128-138, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/paragominas.html>. Acesso em: 05 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PIB – Produto Interno Bruto: explicação e conceitos**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 6 jan. 2026.

IDSC. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil. Paragominas (PA). Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/profiles/1505502/>. Acesso em: 6 jan. 2026.

JOHANNESSEN, Å.; WAMSLER, C. What does resilience mean for urban water services? **Ecology and Society**, v. 22, n. 1, p. 1-15, 2017.

KAUARK, Fabiana; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88p.

LAURENT, François; ARVOR, Damien; DAUGEARD, Marion; OSIS, Reinis; TRITSCH, Isabelle; COUDEL, Émilie; PIKETTY, Marie-Gabrielle; PIRAUX, Marc; VIANA, Cecília; DUBREUIL, Vincent; HASAN, Ali F.; MESSNER, François. Le tournant environnemental en Amazonie: ampleur et limites du découplage entre production et déforestation. **EchoGéo**, [S.l.], n. 41, 2017.

LENSE, G. H. E.; AVANZI, J. C.; PARREIRAS, T. C.; SANTOS, M. A.; MINCATO, R. L. Effects of deforestation on water erosion rates in the Amazon region. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, p. 1-8, 2020.

MAPBIOMAS. **Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MAPBIOMAS. **Método Cobertura e Uso**. Conheça os passos da metodologia de cobertura e uso da terra. MapBiomas, 2026. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/. Acesso em: 03 mar. 2026.

MEEROW, S.; NEWELL, J. P.; STULTS, M. Defining urban resilience: a review. **Landscape and Urban Planning**, v. 147, p. 38-49, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Novas obras entregues pelo Ministério das Cidades universalizam o abastecimento de água em Paragominas**. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/noticia-mcid-n-1483>>. Acesso em: 31 dez. 2025.

NOBRE, Carlos A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

OLIVEIRA, R. S.; GOMES, S. C.; CABRAL, E.R. Da condição de município “Marrom” a município “Verde”: o caso de Paragominas. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, Porto Velho (RO), v. 4, n. 2, p. 122-139, mai./ago. 2012. ISSN 2176-8366.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Assembleia Geral. Resolução 64/292: O direito humano à água e ao saneamento. 2010. Disponível em: <https://docs.un.org/en/a/res/64/292>. Acesso em: 25 dez. 2026.

PARAGOMINAS (Município). **Plano municipal de saneamento básico de Paragominas: Diagnóstico e prognóstico.** 2014. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/12/PLANO-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO.pdf> >. Acesso em: 10 ago. 2025.

PARAGOMINAS (Município). **Lei nº 257/2000.** Dispõe sobre a criação e regulamentação do Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente – CONDEMA. Paragominas, 2000. Disponível em: <https://camaraparagominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/LEI-N%C2%BA-257.00-DISP%C3%95E-SOBRE-A-CRIA%C3%87%C3%83O-E-REGULAMENTA%C3%87%C3%83O-DO-CONSELHO-MUNICIPAL-DE-DEFESA-DO-MEIO-AMBIENTE-CONDEMA.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.

PARAGOMINAS (Município). **Lei nº 870/2014.** Dispõe sobre a Política Municipal de Saneamento Básico do Município de Paragominas. Paragominas, 2014. Disponível em: <https://camaraparagominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/LEI-N%C2%BA-870.14-DISP%C3%95E-SOBRE-A-POL%C3%8DTICA-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO-B%C3%81SICO-DO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-PARAGOMINAS.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2024.

PARAGOMINAS (Município). **Portaria nº 48/2023, de 25 de agosto de 2023.** Dispõe sobre a nomeação dos membros para compor o Conselho Municipal de Saneamento Básico – COMSAB. Paragominas, PA, 2023. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/PORTARIA-No-48.2023-COMSAB.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2025.

PARAGOMINAS (Município). **Lei nº 1.123, de 2023.** Plano Diretor Municipal 2023–2033. Paragominas, 2023. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/07/LEI-No-1.123.2023-PLANO-DIRETOR-MUNICIPAL-2023-A-2033.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2024.

PEREIRA JÚNIOR, A. *et al.* Multitemporal analysis of land use and land cover in the Uraim river microbasin, Paragominas – Pará. **Concilium**, [S. l.], v. 23, n. 6, p. 383–404, 2023.

PINTO, A.; AMARAL, P.; SOUZA JUNIOR, C.; VERÍSSIMO, A.; SALOMAO, R. et al. **Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas.** Belém: Imazon, 2009. Disponível em: <https://imazon.fly.storage.tigris.dev/wp-backup/PDFimazon/Portugues/outros/iagnostico-socioeconomico-e-florestal-do.pdf>. Acesso 21 jun. 2023.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J.; ADENEY, J. M.; BUSTAMANTE, M. M. C. Surface water quality and deforestation of the Purus river basin, Brazilian Amazon. **International Aquatic Research**, v. 9, n. 1, p. 81-97, 2017.

REZENDE, Sonaly; HELLER, Léo; QUEIROZ, Ana Carolina Lanza. Água, saneamento e saúde no Brasil interseções e desacordos. **Anuario de estudios americanos**, v. 66, n. 2, p. 57-80, 2009.

SARDINHA, Aline Souza; VENTURA, Kátia Sakihama; JESUS, Edmir dos Santos; SILVA, Rayssa Magalhães da; PEREIRA JÚNIOR, Antônio. **Danos socioambientais e urbanos decorrentes de inundações em um município da Amazônia Oriental**. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE**, 20., 2023, Poços de Caldas. *Anais [...]*. Poços de Caldas: [s.n.], 2023.

SILLS, Erin O. et al. Estimating the impacts of local policy innovation: the synthetic control method applied to tropical deforestation. **PloS one**, v. 10, n. 7, p. e0132590, 2015.

TRINDADE, Larissa de Lima; SCHEIBE, Luiz Fernando. Gestão das águas: limitações e contribuições na atuação dos comitês de bacias hidrográficas brasileiros. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, p. e02672, 2019.

UNITED NATIONS. General Assembly. **Resolution A/RES/64/292, of 28 July 2010**. The human right to water and sanitation. New York: United Nations, 2010. Disponível em: <https://docs.un.org/en/a/res/64/292>. Acesso em: 10 ago. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. 2. ed. Geneva: WHO, 2023. ISBN 978-92-4-006769-1 (electronic version).

YUAN, Yuan; ZHENG, Yan; ZHANG, Jingwen; HUANG, Xiankai; SHI, Jinlian. **The mediating effect of urban water system climate resilience in the impact of sponge city pilot policy on ecological welfare**. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26394-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-26394-2>

YUAN, Yuan et al. Climate resilience of urban water systems: A case study of sponge cities in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 451, p. 141781, 2024.

CAPÍTULO V – Considerações gerais

Este capítulo apresenta as considerações finais da pesquisa, recomendações para estudos futuros e cita os artigos publicados e aceitos, além de trabalhos de eventos acadêmicos produzidos durante a pesquisa.

1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese analisou de forma integrada a segurança hídrica e a resiliência hídrica urbana no município de Paragominas (PA), articulando três escalas analíticas complementares: a microbacia do rio Uraim, o sistema de produção de água da estação de tratamento de água Uraim (ETA Uraim), operada pela Agência de Saneamento de Paragominas, e a governança hídrica urbana. A abordagem metodológica multiescalar permitiu compreender como pressões territoriais, vulnerabilidades operacionais e assimetrias institucionais convergem na emergência de riscos à segurança da água em contexto amazônico.

Na escala da microbacia, os resultados evidenciaram que o rio Uraim encontra-se submetido a pressões antrópicas relevantes, associadas à expansão agropecuária, à urbanização desordenada e à ocupação de áreas ripárias estratégicas para o abastecimento público. A análise geoespacial multitemporal do uso e cobertura do solo, corroborada por observações sistematizadas em campo, confirmou a intensificação da antropização ao longo do período analisado (1985 a 2024), com reflexos diretos sobre a vulnerabilidade do manancial.

A aplicação da matriz de priorização de eventos perigosos, baseada nas diretrizes da ABNT NBR 17.080/2023 e da Organização Mundial da Saúde publicada na *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*, mostrou-se eficaz para hierarquizar riscos e indicar prioridades de intervenção, destacando como críticos a descarga de esgoto doméstico sem tratamento, a ocupação urbana próxima ao rio Uraim, o descarte irregular de resíduos sólidos e a disposição de dejetos animais em áreas de pastagem. Esses achados confirmam a hipótese de que a integração entre geotecnologias, evidência empírica de campo e instrumentos estruturados de gestão de risco produz diagnósticos que podem ser usados como ferramentas pelos gestores para o planejamento territorial e à proteção de microbacias de abastecimento.

Na escala do sistema de abastecimento, a aplicação das etapas iniciais do Plano de Segurança da Água na ETA Uraim demonstrou a pertinência e a viabilidade da abordagem

preventiva recomendada pela OMS e pela ABNT para o contexto amazônico. A caracterização do sistema revelou pressões persistentes sobre o manancial superficial, enquanto a identificação e avaliação de eventos perigosos permitiram reconhecer vulnerabilidades críticas ao longo das etapas de manancial, captação, adução e tratamento. Embora os resultados laboratoriais cedidos para esta pesquisa tenham indicado conformidade para parâmetros avaliados nos períodos considerados, a identificação de eventos classificados como risco alto ou muito alto, como lançamentos clandestinos de esgoto à montante da captação, lacunas no plano de monitoramento, manejo inadequado do lodo da ETA e elevação sazonal da turbidez no período chuvoso, evidencia que a segurança da água não pode ser sustentada apenas por respostas reativas ou por controles pontuais. O plano de melhorias proposto consolida diretrizes técnicas para mitigação de riscos, fortalecimento do monitoramento e integração do PSA aos instrumentos municipais de planejamento, reforçando seu papel como ferramenta estruturante da gestão preventiva e da adaptação às mudanças climáticas.

Na escala urbana, a avaliação da resiliência hídrica de Paragominas confirmou a hipótese de resiliência hídrica assimétrica. O desempenho elevado em indicadores institucionais e normativos, como a existência de conselhos atuantes, instrumentos de planejamento atualizados e capacidade econômica municipal, contrasta de forma expressiva com fragilidades operacionais e estruturais, sobretudo na cobertura de esgotamento sanitário, na infraestrutura verde-azul e na ausência de um Plano de Segurança da Água. Essa assimetria resulta em uma resiliência predominantemente formal, na qual avanços normativos não se traduzem em melhorias efetivas na provisão de serviços e na redução de vulnerabilidades hídricas. O contraste observado na dimensão Saúde e Bem-estar: alta cobertura de abastecimento de água versus baixa cobertura de esgoto, evidencia que investimentos concentrados em infraestrutura de produção de água, sem expansão proporcional em outras obras de saneamento, limitam o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 6, 11 e 13.

De forma integrada, os resultados demonstram que a segurança hídrica e a resiliência urbana em Paragominas dependem menos da criação de novos instrumentos legais e mais da capacidade de articular governança institucional consolidada com intervenções territoriais, operacionais e ambientais efetivas. A tese contribui metodologicamente ao propor uma abordagem replicável que integra análise geoespacial, gestão preventiva de riscos por meio do PSA e avaliação da resiliência hídrica urbana, oferecendo subsídios técnicos para o planejamento, a priorização de investimentos e o fortalecimento da governança da água em municípios amazônicos sob crescente pressão antrópica e climática.

Como limitações, destaca-se a não inclusão da rede de distribuição nos dados levantados para a proposição de implementação do PSA, a dependência de julgamento técnico na avaliação de riscos e a existência de lacunas em séries históricas e monitoramentos contínuos. Tais limitações não comprometem os achados centrais, mas indicam caminhos para pesquisas futuras, incluindo a ampliação do PSA para a rede de distribuição, a inclusão de análises hidráulicas e laboratoriais, a avaliação da efetividade das medidas propostas e a aplicação comparativa da abordagem em outros municípios amazônicos.

Conclui-se, portanto, que a integração entre território, sistema e governança constitui condição essencial para a promoção da segurança hídrica e da resiliência urbana em Paragominas, sendo imperativo transformar capacidades institucionais existentes em ações estruturais capazes de reduzir vulnerabilidades, proteger mananciais e assegurar o acesso sustentável à água frente às mudanças climáticas.

2 RECOMENDAÇÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

Apresenta-se nesta seção recomendações de pesquisas futuras diante da complexidade de temas como plano de segurança da água, segurança hídrica e resiliência hídrica frente às mudanças climáticas e necessidade de governança da água de forma eficiente e efetiva, englobando diversos setores da sociedade. As recomendações são:

- Aprofundar análises empíricas com dados primários, incluindo monitoramento em tempo real da qualidade da água e da dinâmica hidrológica local.
- Expandir a avaliação dos benefícios da implementação do plano de segurança da água para outras estações de tratamento da região amazônica, simulando sua eficácia em diferentes contextos urbanos e rurais.
- Testar e validar indicadores adaptados da *City Water Resilience Approach*, incorporando métricas específicas para desmatamento, erosão, sedimentação e impactos da mineração.
- Investigar a integração entre plano de segurança da água e *City Water Resilience Approach*, propondo *frameworks* híbridos que articulem segurança hídrica e resiliência urbana em municípios amazônicos.
- Explorar soluções baseadas na natureza (restauração de áreas de recarga, reflorestamento de margens fluviais) como instrumentos de mitigação de riscos hídricos.

- Analisar a governança multinível, considerando a articulação entre políticas municipais, estaduais e federais para gestão integrada da água.
- Estudar a percepção comunitária e participação social, avaliando como o engajamento da população pode fortalecer a implementação de estratégias de segurança e resiliência hídrica.

3 TRABALHOS PRODUZIDOS DURANTE A PESQUISA

Artigo publicado em periódico

Análise da segurança hídrica em Paragominas (PA): indicadores e diretrizes de gestão. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 13, n. 2, p. 31-47, julho-dezembro, 2024 - ISSN 2318-1109. DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2024.v13i2.5160>

Artigo aceito em periódico

Assessed Urban River Hazards: A Case Study of Paragominas, Eastern Amazon. A ser publicado no 3º lote do volume único de 2026 da Revista Ambiente e Sociedade. ISSN 1809-4422.

Artigos publicados em anais de eventos

SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S. Análise da saúde ambiental do Rio Uraim em Paragominas, Pará. In: 2º cidades + resilientes: transformações urbanas frente às questões humanas, 2024, São Carlos, SP. Anais do 2º cidades + resilientes: transformações urbanas frente às questões humanas, 2024. p. 1-10.

SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S.; JESUS, E. S.; SILVA, R. M.; PEREIRA JUNIOR, A. Danos socioambientais e urbanos decorrentes de inundações em um município da Amazônia Oriental. In: 20 Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2023, Poço de Caldas (MG). Anais do 20 Congresso Nacional e Meio Ambiente de Poço de Caldas 2023, 2023. v. 15.

SARDINHA, A. S.; VENTURA, K. S. Análise preliminar dos riscos ambientais da Bacia do Rio Uraim, em um Município da Amazônia Oriental. In: **Internacional Workshop for Innovation in Safe Drinking Water, 2022**, Campinas-SP. Internacional Workshop for Innovation in Safe Drinking Water, 2022. p. 61-64.

Resumos simples publicados em anais de eventos

SARDINHA, A. S.; SILVA, R. M.; VENTURA, K. S.; COSTA, R. G.; SOUZA, K. M. R. Evolução dos índices de abastecimento de água no município de Paragominas (PA). In: **51 Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE, 2023**, Poço de Caldas (MG). XXVI Exposição de Experiências Municipais de Saneamento, 2023. p. 24-24.

SILVA, R. M.; **SARDINHA, A. S.**; VENTURA, KATIA SAKIHAMA; COSTA, R. G.; SOUZA, K. M. R. Estruturação do programa nascente Uraim no município de Paragominas (PA). In: **51 Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE, 2023**, Poço de Caldas (MG). XXVI Exposição de Experiências Municipais de Saneamento, 2023. p. 83-83.