

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS CENTRO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE INFRAESTRUTURA**

**Antônio Gabriel Santos de Ramos**

**Análise técnica e ambiental do igarapé do Mindu no bairro Novo Aleixo,  
Manaus-AM**

**Manaus - Am  
2025**

**Análise técnica e ambiental do igarapé do Mindu no bairro Novo Aleixo,  
Manaus-AM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Ana Maria Dias da Silva Lucena, Dra.

**Manaus-Am  
2025**

**Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro**

---

R175a Ramos, Antônio Gabriel Santos de.  
Análise técnica e ambiental do igarapé do Mindu no bairro Novo  
Aleixo, Manaus-AM / Antônio Gabriel Santos de Ramos. – Manaus, 2025.  
63 p. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). – Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro,  
2025.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Maria Dias da Silva Lucena.

1. Engenharia civil. 2. Sustentabilidade. 3. Igarapés - Manaus. I.  
Lucena, Ana Maria Dias da Silva. (Orient.) II. Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 624

ANEXO 7

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 29 dias do mês de janeiro de 2025, às 19:00h, o(a) estudante Antônio Gabriel Santos de Ramos apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes:

Prof(a). orientador(a): Ana Maria Dias da Silva Lucena

Prof(a). coorientador(a): \_\_\_\_\_

Prof(a). membro 1: Francisco José Rodrigues Fernandes

Prof(a). membro 2: Cristiane Pereira de Aquino

A sessão pública de defesa foi aberta pelo(a) Presidente da Banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo um breve referência ao TCC que tem como título: Análise Técnica e Ambiental <sup>resumo</sup> do Mercado no Bairro Novo Gleico, Manaus - Am

Na sequência, o(a) estudante teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho, e cada integrante da Banca Examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do(a) estudante, a Banca Examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela Aprovação com média 9,33 (nove, trinta e três) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao(à) estudante que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 06/03/2025 com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a seção foi encerrada às 19:35, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo(a) estudante.

Silva  
Prof.(a) Orientador(a) Presidente:

Prof.(a) coorientador(a), se houver



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
CONSELHO SUPERIOR

Prof.(a) avaliador 1:

Prof.(a) avaliador 2

Discente

Dedico esta monografia, a todos os jovens que  
tiveram que sair de suas pequenas cidades,  
para buscar uma vida melhor nos grandes  
centros.

## **AGRADECIMENTOS**

Começo agradecendo aos meus pais, Joelza Batista e Antônio Rodrigues que sob muita luta me permitiram chegar até o final dessa primeira caminhada, meu muito obrigado. Afirmo que sem vocês eu não seria nada. Aos meus irmãos, Jordana Santos e Breno Santos, meu muito obrigado por cada palavra de incentivo. Agradeço profundamente a Tia Valdelucia Valente e suas filhas, vulgo minhas primas, por todo apoio prestado e por terem aberto seu lar que foi minha morada durante esses 5 árduos anos, e que por muitas vezes foram conforto mediante a saudade da minha família. Também, a todos os meus amigos que ajudaram nessa caminhada e não poderia deixar de agradecer ao IFAM, que através do Programa PIBIC-CNP, me proporcionou o custeio de pesquisa ao tema deste trabalho e assim, pude levar a desenvolver a monografia. A todos aqui citados, gratidão, essa vitória é nossa.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise técnica e ambiental do Igarapé do Mindu, com foco na região do bairro Novo Aleixo, em Manaus-AM. O estudo investiga os impactos da urbanização acelerada, a ausência de saneamento básico e as práticas de descarte inadequado de resíduos, que têm comprometimento com a qualidade da água, a biodiversidade local e a saúde pública. Por meio de coleta de dados, análise de campo e revisão bibliográfica, foram identificados problemas como poluição, erosão das margens e alterações na flora e fauna do igarapé. O uso do igarapé para fins sociais e econômicos, como pesca, atualização e saneamento básico, também foi avaliado. Uma pesquisa comparou os dados coletados com estudos anteriores, permitindo propor soluções técnicas e ambientais para a recuperação do igarapé, incluindo ações de educação ambiental, manejo sustentável e planejamento urbano integrado. As recomendações visam promover o uso sustentável do recurso e melhorar a qualidade de vida da comunidade local, contribuindo para a conservação do ecossistema e o equilíbrio socioambiental na região amazônica.

Palavras-chave: igarapés; sustentabilidade; desenvolvimento; Manaus.

## **ABSTRACT**

This work presents a technical and environmental analysis of Igarapé do Mindu, focusing on the region of the Novo Aleixo neighborhood, in Manaus-AM. The study investigates the impacts of accelerated urbanization, the lack of basic sanitation and inadequate waste disposal practices, which harm water quality, local biodiversity and public health. Through data collection, field analysis and bibliographic review, problems such as pollution, bank erosion and changes in the stream's flora and fauna were identified. The use of the stream for social and economic purposes, such as fishing, updating and basic sanitation, was also evaluated. A survey compared the data collected with previous studies, allowing us to propose technical and environmental solutions for the recovery of the stream, including environmental education actions, sustainable management and integrated urban planning. The recommendations aim to promote the sustainable use of the resource and improve the quality of life of the local community, contributing to the conservation of the ecosystem and socio-environmental balance in the Amazon region.

**Keywords:** streams; sustainability; development; Manaus.

## SUMÁRIO

<b>1 Introdução .....</b>	<b>8</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 Contexto histórico do igarapé do Mindu.....	11
2.2 Dados da bacia hidrográfica .....	14
2.3 Biodiversidade do igarapé do mindu.....	17
2.5 Dados do igarapé do Mindu no bairro do Novo Aleixo .....	19
2.6 Gestão de recursos hídricos .....	21
2.7 O sistema de esgoto.....	22
2.8 Política e sustentabilidade no saneamento básico .....	23
2.9 Poluição dos corpos d'água na Amazônia e suas implicações .....	24
2.10 Impactos da Mudança Climática na Gestão de Águas e Saneamento .....	25
2.11 Tecnologias Sustentáveis e Inovações no Saneamento.....	28
2.12 Modelos de Políticas Públicas para a Integração de Saneamento e Saúde no brasil.....	30
2.13 Experiência da gestão do saneamento ambiental no mundo.....	32
2.14 Circular de Economia no Saneamento no brasil .....	35
2.14.1 Exemplo de Implementação no Brasil.....	37
2.15 Aspectos jurídicos e regulatórios do saneamento ambiental no brasil.....	38
2.16 A importância da capacitação e treinamento profissional para melhor gerir as práticas de saneamento ambiental .....	41
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>45</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O bairro do Novo Aleixo é um dos muitos bairros que o igarapé do Mindu atravessa em seu curso. Localizado na zona leste de Manaus, é um bairro populoso que cresceu ao longo das margens do igarapé. O igarapé é um recurso importante para a cidade de Manaus e para a região amazônica como um todo. Ele fornece água e alimento para diversas espécies de animais e plantas, e é um importante componente do ecossistema local. A degradação ambiental dos corpos d'água é uma via de mão dupla, posto que tem mudado paisagens, alterado os sistemas ecológicos aquáticos, promovido a exclusão e injustiças socioambientais (Machado., 2020). Ressaltando Também que a exclusão social tem degradado os ambientes, pelo modo de vida e adensamento populacionais nas proximidades dos cursos d'água provocando danos significativos ao igarapé e à vida que ele sustenta.

De acordo com Blanco (2008) as ocupações informais têm se tornado cada vez mais frequentes em razão do aumento da população e da demanda por moradia gerada por esse crescimento. Esses assentamentos aparecem em diversos tipos de espaços e envolvem diferentes grupos sociais, levando ao surgimento de múltiplos conceitos que buscam categorizar essa forma de ocupação, que contraria as normas e regulamentações estabelecidas para o planejamento urbano.

O igarapé do Mindu apresenta diversos problemas relacionados à qualidade da água e à saúde pública. Uma das principais questões é a quantidade de coliformes fecais presentes na água, indicando contaminação por esgoto doméstico e/ou industrial. Dessa forma, a poluição por lixo e resíduos sólidos é um problema comum, principalmente nas áreas urbanizadas onde o igarapé é utilizado como depósito de lixo. No entanto, na Amazônia brasileira poucas informações existem sobre os efeitos da urbanização e sua repercussão para os cursos d'água e biota associada. Visto que a população está crescendo e que as cidades na Amazônia são essencialmente associadas aos rios e igarapés, estudos sobre os efeitos dos desmatamentos e urbanização são particularmente importantes e necessários (Filho, Walker *et al.*, 2001)

É neste contexto que as cidades constituem aspectos fundamentais na análise dos impactos ambientais e, um de seus principais reflexos, é a existência de áreas de risco, que fazem parte do cotidiano (história em movimento) de milhares de pessoas em todo planeta. No Brasil, consiste num problema recorrente de vários centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Florianópolis, dentre outros. As áreas de risco são comuns também na cidade de

Manaus e, embora os estudos voltados para a temática tenham ganhado destaque em diversas localidades brasileiras, Manaus ainda está entre as que representam carência nesse setor, ou seja, os estudos voltados para o tema são escassos e muito recentes (Cassiano, 2013, p.23).

De acordo com Elanny (2024) é importante salientar que, a erosão das margens do igarapé, que pode ser causada por diversos fatores, como a ação humana, a urbanização e a construção de barramentos, resultando em perda de solo e de vegetação das margens. Essa erosão pode comprometer a estabilidade da estrutura do igarapé e provocar desmoronamentos que afetam estruturas próximas. A erosão das margens do igarapé do Mindu é um problema ambiental que afeta a região de Manaus, no Amazonas. Esse processo compromete a qualidade da água, causa aumento dos custos com obras de contenção e impacta na biodiversidade local. Medidas de proteção ambiental e manejo do uso da área são necessárias para minimizar esses efeitos e garantir a sustentabilidade do igarapé.

Já do ponto de vista ambiental, o igarapé apresenta uma grande biodiversidade, com diversas espécies de plantas e animais que dependem do curso d'água para sobreviver. De acordo com Alburqueque (2018), as pesquisas sobre a fauna e a flora do igarapé do Mindu são fundamentais para compreender a biodiversidade presente na região e identificar as espécies ameaçadas nas áreas urbanizadas. Essas informações auxiliam no planejamento de estratégias estratégicas para conservação e preservação ambiental. O monitoramento das espécies ameaçadas, portanto, é uma etapa crucial na implementação de políticas públicas voltadas para a proteção do meio ambiente, especialmente em contextos urbanos onde o crescimento populacional e a expansão da infraestrutura frequentemente colocam em risco os recursos naturais. Esse enfoque reflete a necessidade de integrar a preservação ambiental ao planejamento urbano, visando a sustentabilidade e a coexistência equilibrada entre o ser humano e a natureza.

Segundo o relatório de impactos ambientais (RIMA) ao ser comprovado no contexto do presente estudo, a bacia revela como o Igarapé do Mindu e o Igarapé da Cachoeira Grande, estão integrados ao ciclo hidrológico local e como as pressões humanas, como despejo de esgoto e expansão urbana, alteram sua funcionalidade (Manaus, 2008). Esse contexto destaca a necessidade de implementar estratégias de manejo sustentável e ações de preservação que garantam a manutenção dos serviços

ambientais oferecidos por essa bacia hidrográfica. Tal abordagem é ainda mais relevante em áreas urbanizadas como Manaus, onde os igarapés desempenham papéis cruciais no equilíbrio social e ecológico.

De acordo com Hélio (2022), essas modificações realizadas ao longo do tempo no Mindu, têm impactado negativamente esse ecossistema, degradando o habitat natural das espécies e comprometendo a qualidade da água. Além disso, a degradação das margens do igarapé afeta diretamente o tipo de vegetação que cresce nas suas margens e no fundo do rio. A urbanização também tem afetado o fluxo de água do igarapé, através de obras como a canalização do mesmo, mudanças no seu leito e construção de barragens. Essas mudanças afetam o equilíbrio do ecossistema e podem provocar desequilíbrios naturais.

Portanto, o curso d'água apresenta inúmeros problemas nocivos a humanos e qualquer outro tipo animal que dependa do corpo aquático para sobreviver, tanto para a saúde pública quanto para a conservação do meio ambiente. “Para uma rápida avaliação de um corpo aquático é necessário conhecer o funcionamento do sistema de abastecimento de água, assim como as comunidades aquáticas” (Lopes, 2008, p.2). Isto é essencial, pois o funcionamento do abastecimento influencia a qualidade e a disponibilidade de água, enquanto as comunidades aquáticas refletem o equilíbrio ecológico e os impactos ambientais. Essa abordagem integrada é crucial para a gestão sustentável de recursos hídricos.

De acordo com Albuquerque e Molinari (2020), o crescimento populacional trouxe mudanças significativas nos padrões de cobertura vegetal, tornando necessária a atuação do poder público na criação de áreas destinadas à proteção e conservação ambiental, como Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Ambiental (APA), Áreas de Preservação Permanente (APP) e espaços verdes. Para mitigar os impactos ambientais decorrentes dessas alterações, é essencial priorizar investimentos em saneamento básico, infraestrutura adequada e implementação de políticas públicas voltadas para a preservação dos cursos d'água e da biodiversidade.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO IGARAPÉ DO MINDU.**

Muito comum na vida do amazonense entre as décadas de 1940 e 1990, os banhos públicos nos igarapés de Manaus marcaram uma era de grande importância cultural e social para a cidade. Durante esse período, esses banhos eram momentos de lazer e socialização para muitas famílias, que se reuniam aos fins de semana para desfrutar das águas dos igarapés, como o Igarapé do 40 e o Igarapé do Mindu. A tradição de "banhos públicos", como eram chamados, fazia parte do cotidiano de várias gerações de manauenses e refletia o vínculo histórico e afetivo da população com seus corpos d'água. Essa conversa estava intimamente relacionada ao período áureo da borracha, quando a cidade de Manaus vivia uma fase de intenso crescimento econômico e social (SANTOS, 2004).

O Balneário do Parque 10, situado na zona centro-sul de Manaus, é um dos exemplos mais emblemáticos dessa prática. Durante décadas, o local foi um destino popular, onde muitas famílias se reuniram para relaxar nas águas do igarapé, pescar ou lavar roupas. O balneário simbolizava um espaço de convivência comunitária, onde as fronteiras sociais eram temporariamente dissolvidas, e a vida no igarapé era uma extensão natural da rotina da cidade (LIMA, 2011). No entanto, à medida que a cidade foi se urbanizando, a expansão desordenada e o crescimento populacional resultaram em influência diretamente na qualidade das águas e na sanidade ambiental dos igarapés, mudando radicalmente a relação da população com esses espaços. Logo abaixo, observa-se o histórico Balneário:

Figura 1 Balneário do igarapé do Mindu no Parque 10, nos anos 60



Fonte: Instituto Durango Duarte/Acervo

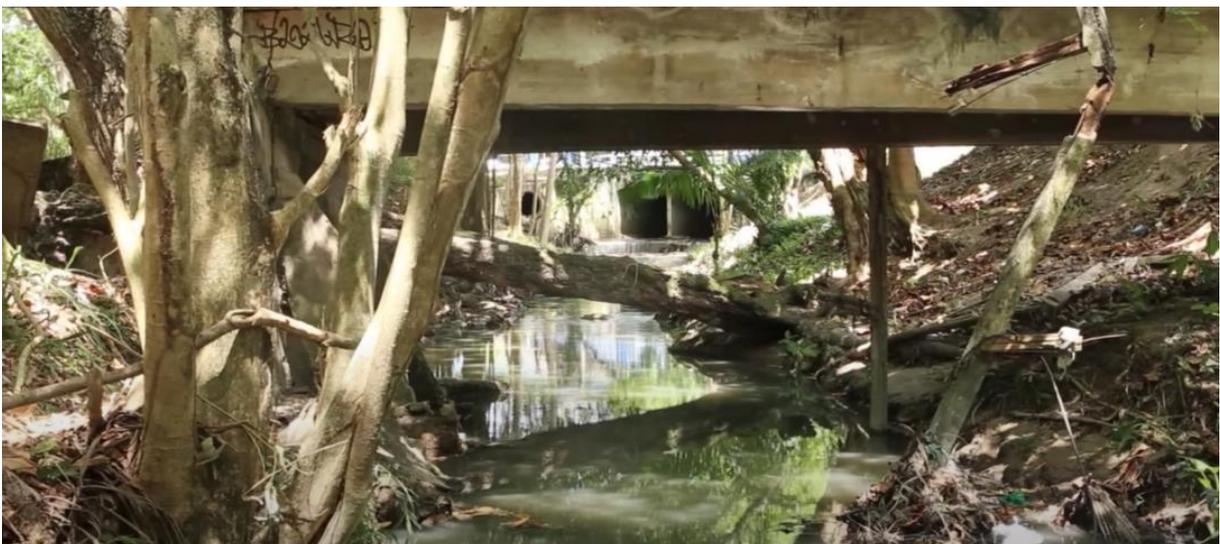
A manipulação dos igarapés de Manaus, impulsionada pelo despejo de esgoto e resíduos urbanos, resultou no fim da prática de banhos públicos, que já não eram mais seguros nem sustentáveis (SILVA, 2017). O processo de urbanização e a falta de planejamento urbano adequado, evoluiu para a poluição e a morte de muitos desses corpos d'água, que antes serviram como fontes de lazer, água e alimentos para a população local. O avanço do esgoto a céu aberto, o crescimento desordenado das construções e o impacto do lixo nas margens dos igarapés resultaram em uma exclusão dos ecossistemas e na redução da qualidade de vida dos moradores próximos (AMAZÔNIA, 2019).

Apesar dessa mudança, a memória dos banhos públicos nos igarapés continua viva entre os manauenses mais velhos, sendo lembrada como o símbolo de uma época em que os corpos d'água da cidade eram mais próximos da vida cotidiana e da

convivência social. O Balneário do Parque 10, hoje em processo de eliminação, serve como um lembrete da importância de restaurar os ecossistemas urbanos e de buscar soluções para a recuperação desses espaços vazios para a cidade. Para isso, é necessário adotar uma abordagem integrada de gestão dos recursos hídricos, com foco na sustentabilidade ambiental, na revitalização dos igarapés e na educação ambiental da população (SILVA, 2022).

Essas questões apontadas acima, exigem não apenas investimentos em infraestrutura e saneamento básico, mas também uma compensação sobre o modelo de urbanização de Manaus, priorizando a preservação ambiental e a saúde pública. A história dos banhos públicos nos igarapés, especialmente o do Balneário do Parque 10, é um convite à reflexão sobre como a cidade pode recuperar e renovar sua relação com seus recursos naturais, buscando a sustentabilidade no presente e no futuro (NASCIMENTO, 2018). Portanto com a falta de manutenção do local, além de problemas com a insegurança crescente, o espaço foi abandonado e ficou mais poluído e sujo com o passar do tempo. Hoje, o Balneário do Parque 10 existe apenas em registros históricos e na memória de quem frequentou o lugar, como pode ser visto na figura a seguir:

Figura 2



Fonte: (Isabelle,2022)

## 2.2 DADOS DA BACIA HIDROGRÁFICA

O Igarapé do Mindu é um dos principais cursos de água de Manaus, localizado no estado do Amazonas, e desempenha um papel crucial na configuração hidrográfica e ecológica da região. Manaus é uma cidade marcada por uma vasta rede de drenagem, composta por diversos igarapés que, juntamente com outros cursos d'água, formam uma complexa rede hidrográfica da Amazônia. Esses igarapés, de primeira e segunda ordem, são essenciais para a formação de rios de diferentes portes e desempenham um papel fundamental no equilíbrio hídrico da região (Ab'Saber, 2003; Albuquerque e Molinari, 2020). O Igarapé do Mindu nasce na área ao sul de Manaus, dentro do Parque Municipal do Mindu, e percorre cerca de 16 quilômetros até desaguar no Rio Negro, um dos maiores e mais importantes rios da região. Ao longo desse percurso, o igarapé atravessa diferentes ecossistemas, incluindo áreas de floresta amazônica, e abriga uma rica biodiversidade, sendo habitat de diversas espécies endêmicas da região. Sua importância ecológica é inegável, pois o igarapé oferece recursos alternativos para muitas espécies de plantas e animais e contribui para a manutenção de processos ecológicos essenciais, como o ciclo hidrológico e a regulação climática local.

A Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindu, que abrange tanto áreas urbanas quanto rurais, enfrenta sérios desafios devido à urbanização acelerada que caracteriza Manaus. A expansão da cidade, com o crescimento desordenado das áreas urbanas e a construção de infraestrutura, tem gerado impactos ambientais impactantes, afetando diretamente a qualidade da água, o regime de fluxo e a biodiversidade da bacia. O Igarapé do Mindu, como principal curso d'água dessa bacia, é diretamente impactado pela urbanização que avança para suas margens. As áreas de floresta ripária que antes protegiam as margens e atuavam na estabilização do solo foram gradualmente aumentadas por construções e empreendimento urbanos, o que resultou em um aumento da impermeabilização do solo e na redução da capacidade de absorção da água da chuva. Esse processo levou ao aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, ao aumento da poluição e do assoreamento do igarapé. Além disso, o desperdício irregular de esgoto doméstico e resíduos sólidos em pequenos igarapés e riachos que alimentam a bacia agrava a situação, tornando a água do igarapé do Mindu contaminada e prejudicando a saúde pública e o ecossistema local. A qualidade da água, portanto, não apenas prejudica a fauna e a

flora aquáticas, mas também representa um risco para as comunidades que dependem desse recurso para diversas atividades cotidianas.

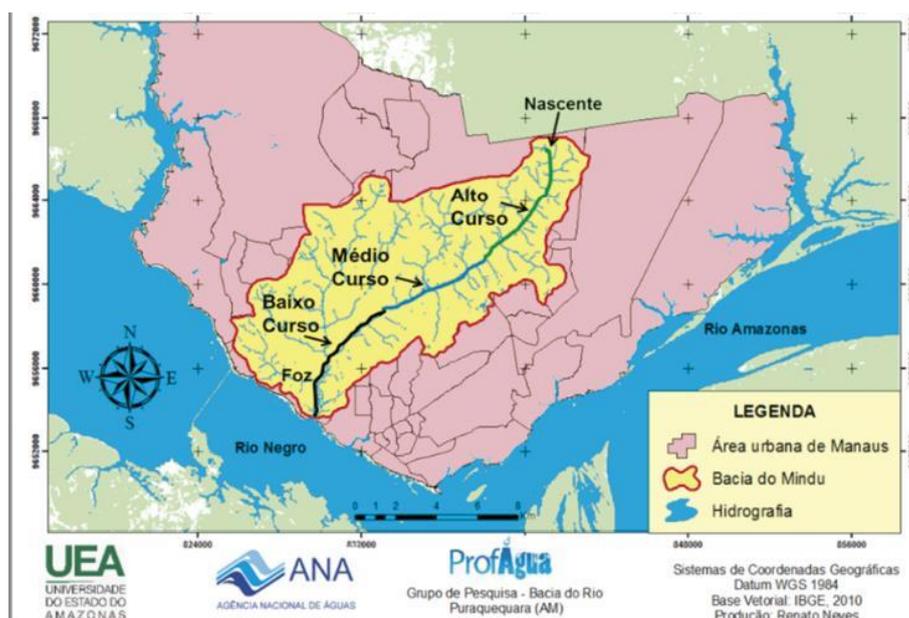
A bacia do Igarapé do Mindu é composta por várias sub-bacias menores que drenam diferentes bairros de Manaus, como o Distrito de Flores, o bairro Planalto, e outras regiões centrais da cidade. O curso d'água principal, que percorre grande parte da cidade, serve como um canal natural para a drenagem da água das chuvas e, assim, possui uma grande importância na dinâmica urbana de Manaus. No entanto, a urbanização desordenada tem causado sérios impactos ambientais na bacia. A impermeabilização do solo, provocada pelo asfaltamento de ruas e construção de edificações, tem aumentado o volume e a velocidade das águas pluviais, o que resulta em enchentes frequentes e no aumento do assoreamento do igarapé. O desmatamento das margens do igarapé, que já perdeu grande parte de sua vegetação ciliar, tem contribuído para a erosão do solo e a manipulação da qualidade da água. Esses problemas, aliados ao despejo irregular de esgoto e lixo, alteraram o regime de fluxo de água, tornando-o mais poluído e dificultando a recuperação de áreas degradadas. Além disso, o impacto negativo sobre a biodiversidade local é evidente, como a perda de habitat para diversas espécies que dependem do igarapé para sobrevivência. A fauna e a flora aquáticas e terrestres enfrentam sérios riscos de extinção ou migração para outras áreas menos impactadas pela urbanização.

Embora a situação do Igarapé do Mindu seja preocupante, sua importância vai além do contexto local, sendo fundamental para o equilíbrio ambiental de Manaus e da região amazônica como um todo. O igarapé contribui para a regulação do clima local, a recarga dos aquíferos densos e a manutenção da biodiversidade. Ele também tem um papel essencial no controle de enchentes e na mitigação dos impactos das chuvas intensas, ajudando a escoar o excesso de água das áreas urbanas. Além disso, o Igarapé do Mindu é um marco cultural de Manaus, com um grande significado para a história da cidade e para a vida cotidiana de seus moradores. Muitas comunidades ao longo de suas margens dependem do igarapé para a pesca, a agricultura e o lazer, ou que reforçam a necessidade de sua preservação. No entanto, a expansão urbana não planejada gerou problemas como o saneamento e a contaminação das águas, o que ameaça não só o equilíbrio ecológico da bacia, mas também a qualidade de vida das pessoas que dependem do igarapé para suas atividades diárias. A poluição das águas, as enchentes e a manipulação das margens são questões que exigem uma

abordagem urgente e coordenada para garantir a sustentabilidade ambiental e social da região.

A conservação do Igarapé do Mindu, portanto, exige um conjunto de ações integradas que envolvem o planejamento urbano sustentável, a restauração das áreas degradadas, a recuperação da vegetação ripária e a promoção de educação ambiental. As políticas públicas devem ser adaptadas para enfrentar os desafios impostos pela urbanização acelerada, com a implementação de práticas que garantem o uso sustentável dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais. Além disso, é essencial envolver a comunidade local no processo de gestão ambiental, promovendo a conscientização sobre a importância do igarapé para o bem-estar coletivo e a preservação dos recursos hídricos. A educação ambiental deve ser vista como uma ferramenta fundamental para a mudança de comportamentos e para a promoção de práticas mais sustentáveis no uso do solo e na gestão da água. Somente por meio de um esforço conjunto entre governo, a sociedade e o setor acadêmico serão possíveis garantir a proteção e recuperação do Igarapé do Mindu, assegurando seus benefícios ecológicos, sociais e econômicos para as futuras gerações. Logo abaixo, na figura 3, observa-se a localização da bacia do igarapé do Mindu.

Figura 3 Mapa de localização da bacia do igarapé do Mindu- Manaus/AM



Fonte: Souza-Filho, Hortêncio-Batista, Albuquerque (2018)

### 2.3 BIODIVERSIDADE DO IGARAPÉ DO MINDU

A bacia do Igarapé do Mindu é um ecossistema rico em biodiversidade, característico da região amazônica, e desempenha um papel vital na preservação da fauna e flora locais. Entre as espécies que habitam o igarapé e suas margens, destacam-se várias plantas e animais endêmicos, muitos dos quais são adaptados às condições únicas da floresta tropical úmida e dos corpos d'água da região. A vegetação ripária ao longo do igarapé, composta principalmente por árvores nativas como o açaí, cupuaçu, castanha-do-pará e diversas espécies de palmeiras, é fundamental para a estabilidade do ecossistema. Ela ajuda a proteger as margens contra a erosão, oferece sombra e abrigo para inúmeras espécies e contribui para a qualidade da água, funcionando como um filtro natural.

No entanto, a urbanização desordenada e a gestão ambiental estão seriamente comprometidas com a biodiversidade dessa área. O desmatamento das margens do igarapé e a poluição, como esgoto doméstico e resíduos sólidos, afetam tanto a flora quanto a fauna. Espécies de peixes, anfíbios, répteis e aves, que dependem dos ecossistemas aquáticos e terrestres, estão enfrentando declínios populacionais. Por exemplo, o peixe tucunaré, endêmico da região, e diversas espécies de rãs e sapos, que se reproduzem nas águas do igarapé, têm seus habitats prejudicados pela poluição da água e pelo assoreamento. A remoção da vegetação ripária também reduz o número de espécies de aves que se alimentam e se abrigam nesse trecho, como o beija-flor, o sabiá e a arara, que são símbolos da fauna local.

Além disso, o aumento da presença de espécies invasoras, como o capim-gordura e a erva-de-são-joão, que competem com a vegetação nativa, tem sido um dos efeitos colaterais da urbanização. Essas espécies exóticas alteram a estrutura do ecossistema e prejudicam a regeneração da paisagem ciliar, essencial para o equilíbrio ecológico da bacia. O sortimento do igarapé e o aumento da turbidez da água também afetaram os processos naturais de reprodução de diversas espécies de peixes e invertebrados aquáticos.

A transferência da biodiversidade do Igarapé do Mindu compromete não apenas a estabilidade ecológica da área, mas também a qualidade de vida das comunidades locais, que dependem desse ecossistema para atividades como pesca, lazer e turismo. A preservação da biodiversidade é, portanto, uma questão urgente, que exige a restauração das áreas degradadas, o controle da poluição e a promoção

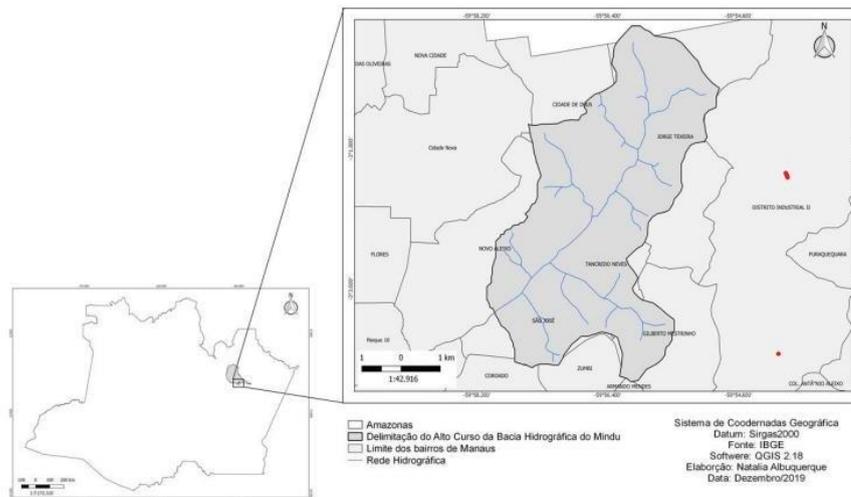
de práticas sustentáveis de uso do solo e da água. Para isso, é essencial um esforço coordenado entre governo, sociedade e comunidades locais, realizando a recuperação da vegetação ripária, a fiscalização do lançamento de efluentes e a implementação de estratégias de conservação da fauna e flora do igarapé.

#### 2.4 Afluentes da bacia hidrográfica do Mindu

Além do igarapé do Mindu, a bacia hidrográfica é composta por pequenos igarapés e riachos urbanos que desempenham um papel essencial no equilíbrio ambiental e no escoamento das águas pluviais. No entanto, esses corpos d'água sofrem com diversos problemas ambientais decorrentes da urbanização desordenada e da ausência de políticas públicas eficazes. O lançamento irregular de esgoto diretamente nesses afluentes compromete a qualidade da água, tornando-a imprópria para o consumo humano e para a sobrevivência de muitas espécies aquáticas. O descarte inadequado de resíduos sólidos nas margens e dentro dos igarapés também contribui para o assoreamento, reduzindo sua capacidade de escoamento e agravando os riscos de enchentes em períodos de chuva.

Além disso, a impermeabilização do solo urbano aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial, o que intensifica a erosão das margens e a destruição de habitats naturais. A falta de cobertura vegetal nas áreas de preservação permanente é outro problema crítico, pois reduz a capacidade dos igarapés de filtrar poluentes e impacta diretamente a biodiversidade local. Esses fatores resultam em graves prejuízos à fauna e à flora, com a diminuição de espécies que dependem desses ambientes para sua sobrevivência. Na figura 4, observa-se o mapa de afluentes da bacia hidrográfica do Mindu.

Figura 4 Mapa das afluentes da bacia hidrográfica do Mindu



Fonte: Albuquerque e Milionari (2020)

## 2.5 DADOS DO IGARAPÉ DO MINDU NO BAIRRO DO NOVO ALEIXO

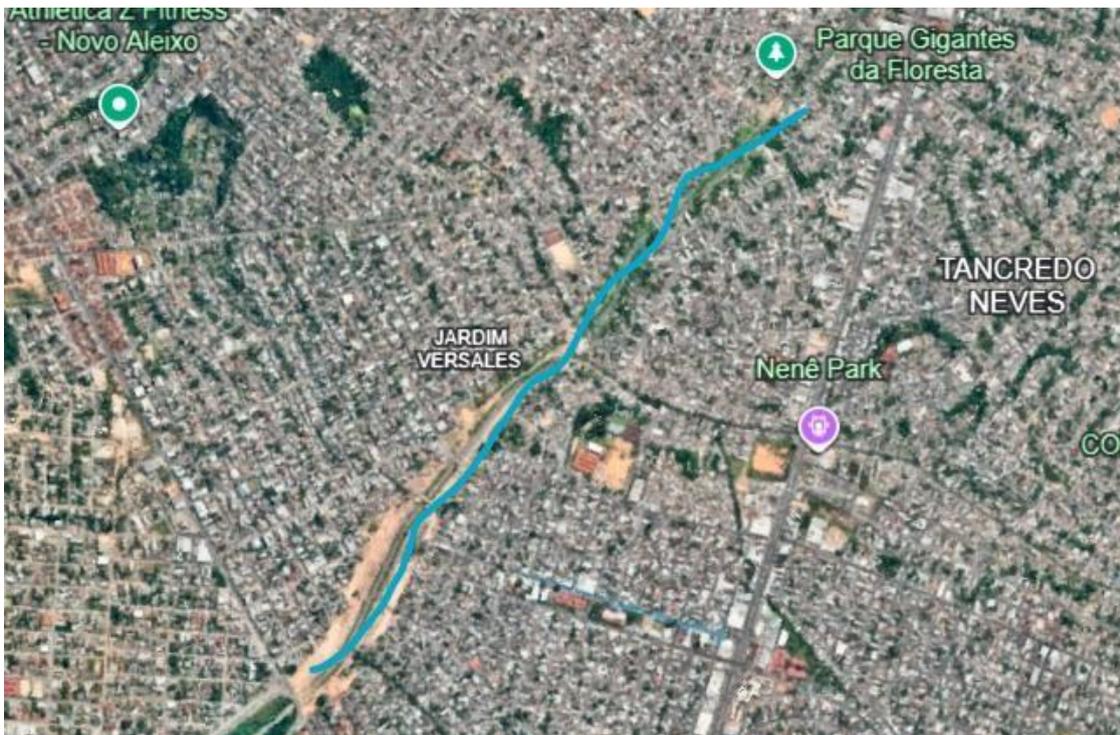
O local de estudo está situado na zona leste de Manaus, mais precisamente nas coordenadas  $3^{\circ}03'26''S$  e  $59^{\circ}57'45''W$ . Essa região apresenta características diversas, combinando aspectos urbanos e naturais. Nas redondezas, é possível observar uma significativa presença de estabelecimentos comerciais, como lojas de varejo, além de restaurantes que atendem à população local. As áreas próximas ao igarapé são frequentadas por pessoas que utilizam os espaços para a prática de atividades físicas ao ar livre, como caminhadas, corridas e exercícios em equipamentos de ginástica pública, refletindo a importância dessas áreas para o bem-estar da comunidade.

No entanto, o cenário também revela problemas sociais e ambientais críticos. O igarapé, que deveria ser um recurso natural preservado e fonte de equilíbrio ambiental, encontra-se altamente contaminado devido ao descarte inadequado de esgoto e resíduos sólidos. Essa degradação afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas que vivem ou trabalham nas proximidades. Sob as pontes que cruzam o igarapé, é comum a presença de pessoas em situação de rua, que utilizam o local como abrigo, evidenciando a vulnerabilidade social da região.

Esse contraste entre a utilização urbana dos espaços e os desafios ambientais e sociais ressalta a complexidade da área de estudo. É essencial que medidas integradas sejam adotadas para a recuperação ambiental do igarapé, a

melhoria da qualidade de vida das populações locais e a inclusão social das pessoas em situação de vulnerabilidade. Logo abaixo, na figura 3, observa-se a área de estudo em questão, que sintetiza as dinâmicas e os desafios dessa região multifacetada de Manaus.

Figura 5 A área de estudo vista no Google Eart



Fonte: Google Earth (2024)

Segundo Nelson (2022) em um editorial na TV Acrítica “dos pontos do igarapé, apenas no da saída da fonte a qualidade da água é considerada regular. É ruim nos pontos das avenidas Itaúba (bairro Jorge Teixeira) e Autaz Mirim, Clube do Trabalhador do Sesi, Parque e Passeio do Mindu e Escola Superior de Tecnologia. Em situação péssima estão a passagem do igarapé pelo bairro Novo Aleixo, Conjunto Petros e Parque dos Bilhares”. Isso evidencia não apenas o impacto ambiental decorrente da ocupação urbana, mas também a falta de infraestrutura adequada de saneamento básico e a gestão ineficaz de resíduos domésticos e industriais.

A classificação "péssima" da qualidade da água indica altos níveis de poluição, possivelmente causados pelo despejo direto de esgoto doméstico, resíduos sólidos e outros contaminantes. Essa situação é preocupante, pois compromete a saúde pública, a biodiversidade aquática e a qualidade de vida dos moradores do

bairro e das áreas próximas. “Desta forma, haverá uma modificação nas características da água, tornando-a imprópria para o consumo humano e outras atividades que dependam de água potável” (Adalberto (2018, p.3).

## 2.6 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segundo o artigo 1º da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997): “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”. Nesta conjuntura, é evidente que a população que reside às margens do igarapé, especialmente aqueles que vivem em palafitas, enfrenta sérias limitações no acesso à informação sobre seus direitos e sobre as políticas públicas relacionadas ao meio ambiente. Essa falta de acesso à informação se reflete em uma incapacidade de participar efetivamente dos processos decisórios, como a gestão e a preservação do igarapé, ou de atuar em conselhos de bacias hidrográficas, que são fundamentais para a tomada de decisões relacionadas ao uso dos recursos hídricos e ao controle da poluição.

Sendo assim, para que se possa pensar em mudanças de parâmetros no tocante a qualidade de vida das pessoas que moram as margens do igarapé, se faz necessário um monitoramento da qualidade da água através de análise das características físicas, químicas e biológicas dos corpos d'água para avaliar sua saúde e adequação para vários usos. No contexto do igarapé do Mindu, o monitoramento da qualidade da água é crucial para identificar poluentes potenciais e suas fontes. O monitoramento regular ajuda no desenvolvimento de estratégias para mitigar os impactos da poluição no meio ambiente e na saúde humana. O desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento para prever a qualidade da água e rastrear fontes de poluição é importante para o gerenciamento de ecossistemas aquáticos sustentáveis em áreas urbanas (Hur 2008).

Santiago, Garro e Junior (2020) afirmam a importância de aprofundar a discussão sobre os problemas ambientais e suas consequências, tanto para a sobrevivência humana quanto para a natureza, que tem demonstrado os altos custos dos impactos causados pelas ações humanas. A realização de monitoramentos periódicos permite a identificação de poluentes potenciais, como esgoto doméstico, resíduos sólidos urbanos, efluentes industriais e contaminantes provenientes do uso do solo, além de suas respectivas fontes. Esses dados são fundamentais para a elaboração de estratégias que visem mitigar os impactos negativos da poluição sobre

o meio ambiente e a saúde humana, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região. Além disso, o monitoramento contínuo fornece informações críticas para a formulação de políticas públicas, bem como para a conscientização e o engajamento das comunidades locais em práticas de preservação ambiental.

## 2.7 O SISTEMA DE ESGOTO

De acordo com Souza (2018), a criação de um sistema de esgoto eficaz é fundamental para garantir a saúde pública, melhorar a qualidade de vida da população e promover a sustentabilidade ambiental. Além disso, contribui significativamente para a promoção da justiça social, para garantir o acesso universal aos serviços básicos de saneamento, essenciais para a dignidade humana. A falta de infraestrutura sanitária tem impactos diretos na saúde das pessoas, especialmente em contextos urbanos com altas taxas de urbanização, como nas regiões periféricas das grandes cidades. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014), para cada dólar investido em saneamento e abastecimento de água, o PIB global cresce 1,5%, e ainda se economizam 4,3 dólares em despesas com saúde pública. Esses números reforçam a importância de priorizar investimentos no setor de saneamento, pois não apenas melhoram a saúde da população, mas também geram benefícios econômicos substanciais. Contudo, esta questão ainda enfrenta desafios sérios, com uma falta generalizada de financiamento e um ritmo lento de implementação de políticas públicas adequadas. Isso resulta em milhares de pessoas expostas a doenças transmissíveis, como diarreia, cólera, hepatite e tifoide, já que, em sua grande maioria, são evitáveis por meio de sistemas adequados de saneamento e abastecimento de água.

Em relação ao Brasil, conforme a Agenda 2030 da ONU (2015), cerca de 44% da população ainda não tem acesso à coleta de esgoto, especialmente nas áreas periféricas e rurais. A situação é ainda mais crítica na região Norte do país, onde apenas 14,7% da população conta com cobertura adequada de rede de esgoto. O novo marco legal do saneamento tem como meta universalizar esse serviço até 2033, com 90% da população tendo acesso à coleta de esgoto. No entanto, o caminho para atingir essa meta é desafiador, pois exige investimentos significativos, parcerias público-privadas eficientes e um planejamento que considere as especificidades locais, como as condições socioeconômicas e ambientais das regiões afetadas. A

implementação de sistemas de esgoto eficientes vai além de um problema de infraestrutura, pois está diretamente ligada à redução das desigualdades sociais e à promoção da saúde pública, prevenindo a propagação de doenças e promovendo a qualidade de vida.

No entanto, como afirmam diversos especialistas, muitos países ao redor do mundo não priorizam a infraestrutura sanitária. Muitas vezes, a falta de uma abordagem integrada nas políticas públicas agrava os problemas, negligenciando a inter-relação entre saneamento básico, saúde pública e desenvolvimento econômico. Isso resulta em uma população vulnerável em surtos de doenças infecciosas e em um ciclo contínuo de pobreza. Em muitos contextos, a ausência de uma comunicação eficaz sobre a importância da infraestrutura de saneamento impede que as comunidades se envolvam em práticas adequadas de higiene e cuidados com o meio ambiente. As consequências desse descaso são profundas, pois, além de prejudicar a saúde das populações, retardam o progresso de um país e afetam seus indicadores de qualidade de vida, como educação, produtividade e bem-estar geral da população. Mesmo no século XXI, com todos os avanços tecnológicos e científicos, questões relacionadas à higiene, saneamento e abastecimento de água continuam sendo determinantes para a saúde da população, como demonstrado por Melo (2020) em sua análise sobre os desafios globais de saneamento.

## 2.8 POLÍTICA E SUSTENTABILIDADE NO SANEAMENTO BÁSICO

O conceito de promoções sociais, conforme abordado por Machado (2012), está intimamente relacionado à distribuição equitativa de renda, à igualdade no acesso a recursos e serviços sociais e à busca por uma sociedade mais envolvente em termos de bem-estar. As promoções sociais são fundamentais para garantir que todas as camadas da população, independentemente de sua classe social ou localização geográfica, tenham acesso aos mesmos direitos, incluindo o direito à saúde e ao saneamento. A política de saneamento, portanto, deve ser vista como uma ferramenta de promoção social, capaz de reduzir desigualdades e melhorar a qualidade de vida. Além disso, os títulos culturais, como indicados por Machado, enfatizam a necessidade de equilíbrio entre a preservação das tradições culturais e a adoção de inovações, permitindo o avanço da sociedade sem perder sua identidade.

Do ponto de vista ecológico, a conservação dos recursos naturais e a gestão ambiental são cruciais para o desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade não deve ser considerada apenas como um objetivo final, mas como um processo contínuo que exige comprometimento de todos os setores da sociedade. O planejamento estratégico, a participação ativa da população e a colaboração entre governos, empresas, organizações da sociedade civil e indivíduos são essenciais para garantir que os direitos ambientais e sociais sejam respeitados. O objetivo é criar um sistema integrado, em que as dimensões sociais, culturais, ecológicas e econômicas sejam equilibradas, garantindo que o desenvolvimento de uma nação seja sustentável e inclusivo. Esse modelo integrado de desenvolvimento sustentável é particularmente importante para as regiões da Amazônia, onde as pressões sobre os recursos naturais e os desafios relacionados à urbanização desordenada são ainda mais intensos.

## 2.9 POLUIÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA NA AMAZÔNIA E SUAS IMPLICAÇÕES

O problema ambiental relacionado à poluição dos corpos d'água na região amazônica, especialmente na cidade de Manaus, reflete as crescentes pressões antrópicas decorrentes do crescimento populacional e da urbanização desordenada. Segundo Silva (2015), atividades humanas, como o descarte inadequado de resíduos sólidos, esgoto doméstico e rejeitos industriais, contribuem para a poluição ambiental dos igarapés da região. Isso ocorre de forma particularmente crescente em áreas densamente povoadas, onde a infraestrutura de saneamento básico é precária ou inexistente. O despejo de esgoto doméstico não tratado em corpos d'água, além de afetar a qualidade da água, resulta na sobrecarga de nutrientes, como matéria orgânica, que acelera o processo de eutrofização, comprometendo os ecossistemas aquáticos e a biodiversidade local.

A situação é ainda mais agravada pela falta de planejamento urbano, característica das cidades da região amazônica, que muitas vezes não possuem políticas públicas específicas para o gerenciamento ambiental dos corpos d'água. O crescimento desordenado das cidades e o deslocamento de população de baixa renda para áreas vulneráveis, como as margens dos igarapés, intensificam os impactos ambientais. A ausência de saneamento básico nessas áreas contribui para a contaminação das águas e para a propagação de doenças de veiculação hídrica, como diarreia e hepatite, afetando principalmente as comunidades mais vulneráveis.

Os impactos da poluição dos igarapés vão além da redução da qualidade da água. A poluição compromete os serviços ecossistêmicos essenciais, como a oferta de água potável, a regulação climática e o suporte à pesca artesanal, atividade vital para muitas comunidades ribeirinhas. Além disso, a contaminação da água pode prejudicar a fauna e a flora locais, levando à diminuição da biodiversidade e à alteração dos habitats naturais. A situação é ainda mais crítica quando se consideram as emissões de substâncias tóxicas, como metais pesados e produtos químicos industriais, que podem permanecer no ambiente por longos períodos e afetar a saúde humana e ambiental. Como propõe Elias e Silva (2001), o enfrentamento dessa crise exige um conjunto de medidas integradas, incluindo a melhoria da infraestrutura de saneamento, a promoção de educação ambiental e a fiscalização de rigorosa para garantir a recuperação dos corpos d'água e a proteção dos recursos naturais.

A contaminação do igarapé do Mindu não afeta apenas o meio ambiente, mas também as comunidades que vivem em seus arredores. A contaminação da água dificulta sua utilização para usos domésticos, como abastecimento e higiene, e aumenta a exposição a doenças de veiculação hídrica, como leptospirose, infecções e hepatites. Além disso, a poluição compromete o uso do código para atividades econômicas, como pesca e agricultura de subsistência, aprofundando desigualdades sociais na região. Segundo (Souza, Silva, Nascimento, Guedes, 2018), o monitoramento da qualidade da água é fundamental para compreender os processos ambientais, especialmente em relação aos impactos causados pelas atividades humanas nos corpos hídricos. Essa análise é essencial para avaliar e controlar os efeitos antrópicos sobre a rede hidrográfica, garantindo o cumprimento das normas legais aplicáveis para Áreas de Preservação Permanente (APPs).

## 2.10 IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA GESTÃO DE ÁGUAS E SANEAMENTO

De acordo com Brito (2020) Embora a Amazônia Central possua vastos recursos hídricos superficiais, o uso dos recursos específicos é crucial para o abastecimento doméstico, devido à sua qualidade e características. A região abrange áreas naturais preservadas, áreas constantemente pressionadas por atividades humanas e áreas urbanas completamente antropizadas. Os aquíferos livres, tanto in

natura quanto alterados pelas ações humanas, estão inseridos nesse cenário e desempenham um papel significativo nos ecossistemas e na economia, principalmente no que diz respeito ao abastecimento doméstico e industrial. Segundo Ferrari (2006), em áreas urbanas, os aquíferos livres e rasos estão sujeitos à pressão antrópica e apresentam duas características principais: a vulnerabilidade às emissões, devido à reduzida espessura da zona não saturada, o que facilita e acelera o transporte de combustíveis até a zona saturada, e a localização geográfica, que depende da formação geológica, da espessura do aquífero, do uso da área e da demanda populacional.

Como metrópole amazônica, a cidade de Manaus destaca-se pela importância econômica, através do polo industrial, que atrai migrantes dos vários estados do país em busca de emprego e que acabam fixando-se na cidade. De acordo com dados do IBGE (2016), Manaus é a cidade mais populosa da região Norte (2.094.000 habitantes), apresentando um crescimento desordenado, que afeta diretamente a forma de planejar e distribuir água e outros serviços básicos. Conforme estimativa realizada pelo IBGE (IBGE, 2017), a taxa de crescimento populacional para o estado do Amazonas seria de 1,49 em 2018 e deverá atingir 0,90 em 2030, alcançando uma população total de 4.728.027 habitantes Brito (2020, P.23).

Além dos desafios enfrentados pelo crescimento desordenado, Manaus também enfrenta a deficiência e a gestão dos recursos hídricos estruturais e superficiais. Uma cidade, que depende fortemente de fontes hídricas para abastecimento, enfrenta uma situação crítica, principalmente em áreas periféricas e regiões mais densamente povoadas, onde o sistema de saneamento básico é insuficiente ou inexistente. A exploração insustentável dos aquíferos rasos e da umidade gerada pelo lançamento inadequado de esgoto e resíduos industriais nas águas do Rio Negro e seus afluentes são impactados diretamente na qualidade da água disponível, tornando-a convencionais para o consumo humano sem o tratamento adequado. A situação é

ainda mais agravada pela falta de infraestrutura de distribuição de água e do sistema de esgoto, o que coloca em risco a saúde da população e compromete a qualidade de vida nas áreas mais vulneráveis.

A crescente urbanização e a expansão das áreas industriais em Manaus trazem, também, uma pressão adicional sobre o meio ambiente e os recursos hídricos. Segundo Souza (2019), as áreas industriais localizadas às margens de corpos hídricos como o Rio Negro, igarapés e outros pequenos cursos d'água, frequentemente despejam efluentes diretamente nesses recursos sem tratamento adequado. Esses resíduos e substâncias tóxicas contribuem para o aumento da contaminação da água, comprometendo não só a fauna e a flora aquática, mas também prejudicando a saúde da população que depende desses recursos. Além disso, a urbanização acelerada tem levado ao assentamento de igarapés e à impermeabilização do solo, prejudicando a capacidade de recarga dos aquíferos e afetando a qualidade e a quantidade de água subterrânea disponível.

Com a urbanização desordenada e o crescimento populacional acelerado, as políticas públicas para o abastecimento de água e saneamento básico são mostradas de forma insuficiente para suprir as necessidades da população. O impacto social dessa realidade é profundo, afetando principalmente as classes mais pobres, que vivem em áreas sem infraestrutura básica e, muitas vezes, sem acesso a fontes seguras de água potável. A escassez de serviços adequados de coleta de esgoto e tratamento de água gerou um ciclo vicioso de doenças de veiculação hídrica, como diarreia e outras doenças infectocontagiosas, além de aumentar a carga sobre os sistemas públicos de saúde. A falta de acesso à água potável e ao esgoto tratado não só prejudica a saúde da população, mas também impede o desenvolvimento econômico e social da cidade, dificultando a redução das desigualdades sociais e o aumento da qualidade de vida.

Além das questões relacionadas à infraestrutura, é necessário destacar a importância de um planejamento urbano mais eficiente, que leve em consideração as características geográficas e ambientais da região. O uso inadequado dos recursos hídricos, aliado à falta de um sistema de gestão de resíduos e de tratamento adequado da água, coloca em risco o futuro da cidade e da região como um todo. Por isso, é

fundamental adotar soluções integradas e sustentáveis, que envolvam não apenas o poder público, mas também a sociedade civil e as empresas privadas, em ações de preservação e recuperação ambiental. A criação de políticas públicas que incentivem o uso racional da água, o tratamento adequado de esgoto e a recuperação de áreas degradadas é essencial para garantir um abastecimento de água seguro e sustentável para as futuras gerações.

## 2.11 TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS E INOVAÇÕES NO SANEAMENTO

De acordo com Silva (2024), a criação do Polo Industrial da Zona Franca de Manaus (PIM) também trouxe implicações sociais e ambientais que requerem atenção e gestão integrada. A concentração populacional em torno do polo acelerou o processo de urbanização, gerando demandas crescentes por infraestrutura, habitação e serviços básicos, como saneamento e transporte. Contudo, a expansão desordenada da cidade tem pressionado os recursos naturais da região, incluindo os ecossistemas aquáticos e florestais, que desempenham papel crucial na manutenção do equilíbrio climático. Estudos apontam que cerca de 80% da área urbanizada de Manaus foi ocupada de maneira não planejada, o que contribuiu para problemas como enchentes, poluição dos igarapés e a perda de biodiversidade local (Moura *et al.*, 2023). Assim, a integração de práticas sustentáveis no planejamento urbano torna-se imprescindível para evitar que o crescimento econômico continue a ocorrer em detrimento do meio ambiente.

Ainda segundo Costa *et al.* (2023), o PIM tem buscado integrar a sustentabilidade em suas operações por meio de incentivos fiscais voltados para empresas que adotam tecnologias limpas e utilizam fontes de energia renováveis. Um exemplo é o uso crescente de energia solar e biomassa em processos produtivos, que vem reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, embora esses avanços sejam significativos, eles ainda representam uma parcela pequena do impacto ambiental total das atividades industriais na região. A responsabilidade social empresarial também tem ganhado força, com projetos voltados para a capacitação de mão de obra local, inclusão social e reflorestamento de áreas degradadas. Esses esforços, embora importantes, precisam ser ampliados e sistematizados para alcançar um impacto mais abrangente e duradouro.

Também, conforme Silva e Almeida (2024), um dos maiores desafios para Manaus é equilibrar o rápido avanço tecnológico e industrial com as necessidades das comunidades locais. Em muitos casos, os benefícios econômicos gerados pelo PIM não se traduzem diretamente em melhorias para a população, especialmente nas áreas periféricas da cidade, onde prevalecem baixos índices de qualidade de vida. Investimentos em infraestrutura verde, como parques urbanos e recuperação de igarapés, poderiam atender tanto às demandas ambientais quanto sociais, oferecendo espaços de lazer e mitigando problemas como enchentes e poluição. Além disso, programas de educação ambiental e inclusão digital para a população local são fundamentais para fomentar uma cultura de sustentabilidade e capacitar os moradores a participar ativamente desse processo de transformação. O futuro de Manaus como uma cidade inteligente e sustentável depende de estratégias integradas que considerem tanto a preservação ambiental quanto o bem-estar da população.

Ademais, a expansão da Zona Franca de Manaus (ZFM) também impactou a dinâmica social e econômica da cidade, promovendo maior integração da população local ao mercado formal de trabalho e ampliando as oportunidades de renda. No entanto, conforme Oliveira et al. (2023), essa transformação não ocorreu de forma homogênea, resultando em disparidades significativas entre áreas centrais e periféricas. Enquanto os bairros mais próximos ao centro da cidade se beneficiaram de melhorias em infraestrutura e acesso a serviços, as regiões periféricas, frequentemente localizadas em áreas de preservação ambiental, sofrem com o déficit de saneamento básico, transporte e equipamentos públicos. Essa desigualdade intensifica a ocupação irregular do solo, levando ao aumento de problemas ambientais, como a contaminação de igarapés e o desmatamento de áreas de proteção. Assim, a integração de políticas públicas que aliem crescimento econômico e justiça social é crucial para promover o desenvolvimento sustentável da região.

Outro aspecto relevante é o papel da inovação tecnológica no PIM, que tem contribuído para posicionar Manaus como um polo estratégico no contexto da Indústria 4.0. Segundo Araújo e Lima (2024), iniciativas voltadas para a automação industrial, o uso de inteligência artificial e a implementação de tecnologias sustentáveis têm ganhado força no PIM, alinhando-se aos objetivos globais de redução de emissões de carbono e eficiência energética. Contudo, os autores alertam

que, para que essa transição seja plenamente eficaz, é necessário ampliar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e fomentar parcerias entre indústrias, universidades e o governo local. A criação de polos tecnológicos na cidade, associados à formação de uma força de trabalho qualificada, pode impulsionar ainda mais a competitividade do PIM e consolidar Manaus como referência em tecnologia e sustentabilidade na região Norte.

A conexão entre desenvolvimento industrial, inovação tecnológica e preservação ambiental é um dos maiores desafios enfrentados por Manaus. Como apontado por Silva (2024), a integração de soluções sustentáveis nas operações do PIM é fundamental para mitigar os impactos ambientais e garantir a qualidade de vida da população. Além disso, iniciativas de revitalização dos igarapés urbanos, como o Mindu, poderiam funcionar como modelos de integração entre infraestrutura verde e desenvolvimento econômico. Tais projetos não apenas melhorariam a saúde ambiental da cidade, mas também contribuiriam para a inclusão social e a valorização cultural das comunidades locais, muitas das quais mantêm uma relação histórica com os cursos d'água. O sucesso dessa abordagem, contudo, depende de políticas públicas consistentes, que priorizem o equilíbrio entre as demandas econômicas e a preservação ambiental, garantindo que o crescimento de Manaus seja verdadeiramente sustentável.

## 2.12 MODELOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INTEGRAÇÃO DE SANEAMENTO E SAÚDE NO BRASIL

Segundo Turolla (2002), a indústria do saneamento, assim como outros serviços públicos de infraestrutura, é caracterizada por altos custos fixos decorrentes de investimentos em capital específico. Essa estrutura configura um monopólio natural, onde os custos médios de produção diminuem conforme a escala de operação aumenta, tornando mais eficiente a atuação de um único produtor. Em outras palavras, em setores como o saneamento, é mais econômico que uma única empresa forneça o serviço a uma grande quantidade de consumidores, já que a duplicação da infraestrutura e os custos de operação para novos concorrentes aumentariam consideravelmente.

Contudo, a presença de um monopólio natural não significa que a atuação monopolista seja sempre vantajosa para o consumidor. Embora a concentração de produção seja eficiente do ponto de vista de custos, ela pode levar a distorções alocativas, como preços elevados ou uma oferta de serviços de qualidade inferior. Essas distorções ocorrem porque a empresa monopolista, ao não ter concorrência, pode não ter incentivos suficientes para melhorar seus serviços ou para atender a todas as demandas do mercado.

No entanto, os elevados custos fixos criam um desafio entre eficiência produtiva e eficiência alocativa. Por um lado, a eficiência produtiva é alcançada ao concentrar as operações em um único operador, dada a estrutura monopolista. Por outro lado, o poder de monopólio pode gerar distorções alocativas, como preços elevados ou serviços inadequados, que precisam ser mitigadas por mecanismos específicos. Para resolver esse dilema, a competição direta pode ser substituída por alternativas que promovam a eficiência alocativa. Uma abordagem é a realização de leilões para conceder o direito de operar em determinado mercado, garantindo que o operador escolhido seja aquele que oferecer as melhores condições de custo e serviço. Outra solução é implementar mecanismos regulatórios que limitem os impactos negativos do poder monopolista. Frequentemente, essas estratégias são combinadas, utilizando tanto leilões de concessão quanto regulação para equilibrar eficiência produtiva e alocativa.

A integração entre políticas de saneamento básico e saúde pública é fundamental para promover melhorias nas condições de vida e reduzir a incidência de doenças relacionadas à precariedade no manejo de resíduos e à falta de acesso à água tratada. No Brasil, a experiência com o saneamento básico reflete avanços significativos, especialmente após a promulgação da Lei nº 11.445/2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o setor, e sua atualização pela Lei nº 14.026/2020, conhecida como o novo Marco Legal do Saneamento Básico. Essas legislações reforçaram a importância de universalizar o acesso a serviços de água, esgoto, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana, com foco na redução das desigualdades regionais e no fortalecimento da saúde pública (Brasil, 2020).

Um dos principais exemplos de integração entre saneamento e saúde no Brasil é o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que incluiu investimentos

em infraestrutura para ampliar o acesso a serviços básicos. Segundo dados do Ministério da Saúde, áreas atendidas pelo programa registraram quedas significativas na incidência de doenças como diarreia, leptospirose e dengue, que estão diretamente relacionadas à ausência de saneamento adequado (Ferreira et al., 2022). No entanto, desafios persistem, especialmente em regiões periféricas e na zona rural, onde a cobertura de serviços de esgotamento sanitário ainda é limitada.

Além disso, o Sistema Único de Saúde (SUS) tem desempenhado um papel importante na vigilância e no controle de doenças associadas à falta de saneamento, promovendo campanhas educativas e investindo em ações preventivas. Experiências municipais, como a implementação de consórcios intermunicipais de saneamento, têm demonstrado o potencial de soluções integradas para melhorar os indicadores de saúde e otimizar os recursos públicos (Silva e Santos, 2023). Um exemplo é o Consórcio Intermunicipal de Saneamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, que reúne esforços de diversos municípios para ampliar a cobertura de serviços básicos e reduzir os custos operacionais.

A experiência brasileira destaca a importância de políticas públicas que combinem investimentos em infraestrutura com ações de educação e sensibilização da população. Estudos mostram que a universalização do saneamento pode gerar benefícios econômicos significativos, reduzindo os gastos com saúde pública e aumentando a produtividade da população (Nascimento e Oliveira, 2023). Entretanto, para que esses avanços sejam alcançados, é necessário fortalecer a governança do setor, garantir a continuidade dos investimentos e priorizar as regiões mais vulneráveis.

## 2.13 EXPERIÊNCIA DA GESTÃO DO SANEAMENTO AMBIENTAL NO MUNDO

O modelo inglês de saneamento é amplamente reconhecido por sua abordagem de privatização e regulação rigorosa do setor. Após a privatização do serviço de água e esgoto no Reino Unido, realizada na década de 1980 sob o governo de Margaret Thatcher, o modelo adotado visou aumentar a eficiência, melhorar a qualidade do serviço e atrair investimentos privados para o setor, que, até então, era

amplamente dominado pelo governo. Essa mudança transformou as empresas estatais de saneamento em empresas privadas, com a criação de organismos reguladores independentes para supervisionar o setor, como a Ofwat (Water Services Regulation Authority), que estabelece regras para a fixação de tarifas e padrões de qualidade.

O objetivo da privatização foi melhorar o atendimento à população, garantir a expansão dos serviços e reduzir a carga sobre o Estado, que enfrentava dificuldades financeiras. Os primeiros movimentos pela privatização esboçaram-se em meados da década de 1980, com a definição de um cronograma de transformação das autoridades de bacia em companhias públicas limitadas Turolla (2002). As empresas privadas passaram a ser responsáveis pela operação, manutenção e expansão das redes de água e esgoto, com a exigência de que cumprissem metas de qualidade e eficiência estabelecidas pelo regulador. Além disso, a privatização buscou gerar investimentos em infraestrutura, uma vez que o setor privado teria mais acesso a recursos financeiros, além de promover a introdução de tecnologias mais avançadas e uma gestão mais eficiente.

No entanto, esse modelo enfrentou críticas, principalmente em relação ao aumento das tarifas e à falta de transparência no processo de privatização. Embora os investimentos tenham aumentado, houve um aumento considerável nos preços cobrados dos consumidores, o que gerou desigualdade no acesso aos serviços, especialmente para as populações de menor renda. Além disso, a pressão para gerar lucro para os acionistas das empresas privadas levou à intensificação de críticas sobre a qualidade dos serviços prestados, com a percepção de que as empresas estavam priorizando a lucratividade em detrimento da melhoria das condições de atendimento.

Ainda que particularmente associada ao programa conservador, a privatização pode ter sido impulsionada pelos elevados padrões de qualidade de água e de esgoto introduzidos pela Comunidade Européia. Dado que o investimento vinha sofrendo cortes nos trinta anos precedentes, a conformidade com esses padrões poderia envolver somas de recursos suficientemente elevadas para criar um ônus eleitoral em uma eventual opção de elevação de impostos para fazer frente aos investimentos. (Turolla,2002, p.9)

Já, O modelo francês de gestão do saneamento ambiental é baseado em um sistema de delegação de serviços públicos, onde as autoridades locais mantêm o controle sobre a regulamentação e a fiscalização, mas as operações e a gestão dos serviços são contratadas a empresas privadas ou consórcios. De acordo com a *Agence Française de Développement* (2020), "les contrats de délégation de service public, qui représentent une grande majorité des contrats de gestion de l'eau, permettent de concilier efficacité de gestion et responsabilité publique". Isso significa que, embora a operação do saneamento seja feita por entidades privadas, o controle público sobre aspectos essenciais, como tarifas e qualidade dos serviços, é preservado.

Este modelo busca combinar a expertise e a eficiência das empresas privadas com o interesse público e o controle das autoridades municipais e regionais. A França tem uma longa tradição de eficiência nos serviços de saneamento, e essa abordagem tem sido uma característica central da gestão pública de água e esgoto no país desde a década de 1980. Segundo Rémy (2011), "la gestion déléguée permet d'adapter les services aux besoins locaux, tout en garantissant un cadre de régulation précis qui protège les usagers". Ou seja, a gestão delegada possibilita uma adaptação às necessidades locais, ao mesmo tempo em que garante um marco regulatório que protege os consumidores.

A estrutura de gestão francesa é caracterizada pela delegação de contratos, onde municípios ou agrupamentos de municípios contratam empresas privadas para operar os serviços de água e esgoto, mas com forte regulação por parte das autoridades públicas. As modalidades de contrato mais comuns incluem contratos de concessão, contratos de gestão delegada e contratos de parceria público-privada (PPP). Como destaca Lefèvre (2008), "le modèle de délégation en France repose sur un équilibre entre le rôle de l'État et celui des entreprises privées dans la gestion de l'eau, avec une régulation stricte des tarifs et de la qualité des services".

Uma das principais vantagens do modelo francês é que ele combina a eficiência da gestão privada com o controle público sobre aspectos cruciais como preços e qualidade do serviço. Isso permite que as empresas privadas operem com flexibilidade e busquem inovações, enquanto o governo local garante que os serviços sejam prestados de maneira justa e acessível, com um enfoque social e ambiental. Além disso, a França tem investido significativamente em tecnologias para a gestão

eficiente da água e a melhoria da infraestrutura de saneamento, o que tem permitido a ampliação do acesso aos serviços e a melhoria da qualidade ambiental.

Apesar de sua eficiência, o modelo francês enfrenta desafios, como a complexidade na coordenação entre as autoridades locais e as empresas privadas, além de críticas relacionadas ao aumento das tarifas em algumas regiões. Como apontado por Rémy (2011), "les coûts liés à la gestion privée des services d'eau peuvent parfois entraîner une hausse des prix, particulièrement dans les zones rurales où l'accès aux services reste limité". Isso sugere que, embora o modelo seja eficiente em algumas regiões, ele pode não ser igualmente vantajoso em áreas menos urbanizadas, onde os custos operacionais são mais elevados.

Apesar das denúncias de corrupção e de colusão, o modelo francês gerou um sistema que cria eficiência sem impor um ônus pesado ao setor público Turolla (2002), logo, a gestão delegada e a regulação rigorosa permitiram que as empresas privadas, contratadas para operar os serviços de água e esgoto, buscassem inovação e eficiência operacional, resultando em uma melhoria nos serviços prestados à população. Além disso, o modelo permitiu a criação de algumas das maiores empresas multinacionais de saneamento básico atualmente existentes, como Veolia e Suez. Essas empresas, originadas do modelo francês, expandiram suas operações globalmente, levando as práticas francesas de gestão de água e esgoto a outros países. Embora o modelo tenha gerado importantes avanços em termos de eficiência e expansão do acesso, as críticas à falta de transparência e aos custos elevados permanecem como desafios a serem superados.

## 2.14 CIRCULAR DE ECONOMIA NO SANEAMENTO NO BRASIL

A Circular de Economia no Saneamento é um conceito emergente no Brasil que visa transformar a maneira como os serviços de saneamento são estruturados, promovendo uma gestão mais sustentável e eficiente dos recursos naturais. Esse modelo se baseia em práticas de economia circular, um conceito que tem ganhado cada vez mais relevância globalmente. A economia circular no saneamento busca reduzir o desperdício, aumentar a reutilização de recursos e promover a regeneração de sistemas naturais, principalmente na gestão de água e resíduos.

A economia circular é um modelo de produção e consumo que incentiva a reutilização de materiais e recursos, prolongando seu ciclo de vida útil, ao invés de seguir o modelo linear tradicional de "extrair, produzir, consumir e descartar". No contexto do saneamento, a aplicação dessa abordagem visa a maximização da eficiência no uso da água e no tratamento de esgoto, com foco na recuperação de recursos e no reaproveitamento de materiais.

A Circular de Economia no Saneamento é uma proposta que vai além da redução de resíduos, buscando integrar práticas que promovam a recuperação de nutrientes, a reutilização de águas residuais e o aproveitamento de biogás, por exemplo. Esse modelo permite a transformação de resíduos orgânicos e efluentes em novos recursos úteis, como compostos orgânicos e energia renovável.

No Brasil, o saneamento enfrenta grandes desafios, como a escassez de recursos hídricos em algumas regiões, taxas elevadas de esgoto sem tratamento adequado e falta de infraestrutura em muitas áreas urbanas e rurais. A aplicação de princípios da economia circular poderia ser uma solução para esses problemas. A recuperação de recursos do tratamento de esgoto, por exemplo, não poderia apenas melhorar a qualidade ambiental, mas também criar novos insumos para outros setores, como a agricultura (por meio da produção de compostos para fertilização) e a geração de energia (com produção de biogás).

A circularidade nos serviços de saneamento pode ser aplicada de diversas formas, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos. Além da reutilização de águas residuais tratadas para diversos fins, como supervisão ou reutilização industrial, o reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos, como plásticos e metais, também tem grande importância. Esses materiais podem ser reciclados ou transformados em novos produtos, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários e contribuindo para uma economia circular. O reaproveitamento de resíduos também pode gerar compostos orgânicos para a agricultura ou biogás para a produção de energia, o que auxilia na redução da emissão de gases de efeito estufa (Neto, 2019).

Tecnologias inovadoras são fundamentais para a aplicação da economia circular no saneamento. O uso de biorreatores e outros processos avançados de tratamento de águas residuais, como a filtração por membranas, não só melhoram a

qualidade da água, mas também possibilitam a recuperação de energia, como o biogás. Além disso, sistemas de tratamento de águas residuais para reutilização industrial têm sido cada vez mais implementados, contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e para a diminuição do impacto ambiental (*Ferreira & Silva, 2020*). Esses processos não apenas atendem às necessidades locais, mas também promovem uma economia mais sustentável ao criar novos ciclos de utilização de recursos hídricos e energéticos.

Outro aspecto importante da economia circular no saneamento é a gestão integrada de resíduos, que permite a recuperação energética e a transformação de resíduos orgânicos em produtos úteis. A implementação dessas práticas traz benefícios econômicos, como a criação de novos modelos de negócios e fontes alternativas de renda, especialmente em áreas com recursos financeiros limitados. Como destaca *Ribeiro (2021)*, a adoção de uma abordagem circular no saneamento é essencial para o avanço da sustentabilidade urbana, alinhando as práticas locais às exigências globais de preservação ambiental.

#### 2.14.1 EXEMPLO DE IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

Em 2019, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Saneamento Básico (ProSAB) passou a incluir em suas diretrizes a busca pela economia circular no gerenciamento dos serviços de água e esgoto, com o objetivo de promover a adoção de tecnologias que possibilitem a reaproveitamento da água tratamento, o aproveitamento da energia gerada a partir do esgoto e a reciclagem de resíduos sólidos de forma mais eficiente. O programa visa transformar os resíduos gerados no processo de saneamento em novos recursos, reduzindo o impacto ambiental e promovendo a sustentabilidade no setor. A implementação dessa abordagem envolve a adoção de tecnologias inovadoras, como biorreatores e sistemas de tratamento de águas residuais, que não apenas garantem o tratamento adequado, mas também possibilitam a recuperação de energia e a reutilização da água para usos diversos, como privacidade e processos industriais.

Em cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, já há exemplos de aplicação da economia circular, ainda que em estágios iniciais e com alguns desafios operacionais. São Paulo, por exemplo, está implementando o Projeto Reuso de Água

na Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, onde a água tratada é utilizada para supervisão de áreas verdes e em processos industriais, além de gerar biogás a partir do esgoto tratado, que é utilizado para produção de energia elétrica. Já no Rio de Janeiro, há iniciativas de reciclagem de resíduos sólidos urbanos, como o reaproveitamento de lodo de esgoto e o uso de água tratada para supervisão de jardins e abastecimento de pequenos sistemas industriais.

No entanto, a implementação plena da economia circular no Brasil enfrentou desafios significativos, como a falta de infraestrutura em várias cidades, a carência de investimentos em tecnologias avançadas e a necessidade de capacitação técnica dos profissionais do setor. Além disso, a criação de marcos legais e regulatórios adequados é essencial para garantir incentivos que promovam a adoção dessas práticas em larga escala, assegurando um modelo de gestão de saneamento mais sustentável e eficiente.

## 2.15 ASPECTOS JURÍDICOS E REGULATÓRIOS DO SANEAMENTO AMBIENTAL NO BRASIL

Os aspectos jurídicos e regulatórios do saneamento ambiental no Brasil são fundamentais para garantir a implementação de políticas públicas efetivas e a prestação de serviços adequados à população. A legislação brasileira é estruturada de forma a diretrizes claras para o planejamento, execução e fiscalização dos serviços de água, esgoto e resíduos sólidos, com o objetivo de proteger a saúde pública e o meio ambiente. O marco legal do saneamento brasileiro foi reformado em 2020 com a Lei nº 14.026/2020, que trouxe importantes mudanças no setor, buscando ampliar o acesso aos serviços de saneamento e melhorar a qualidade desses serviços em todo o país.

A Lei nº 14.026/2020, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, estabelece que todos os municípios devem atingir a universalização dos serviços de saneamento até 2033, com metas específicas de cobertura de água, esgoto e coleta e tratamento de resíduos sólidos. Um dos objetivos principais desta lei é aumentar a participação do setor privado, por meio de concessões e parcerias público-privadas (PPP), além de estabelecer normas de regulação mais regras para garantir a qualidade e eficiência dos serviços prestados (*Souza & Silva, 2020*). Além disso, o Novo Marco Legal prevê a criação de um regulador nacional de saneamento,

que fiscalizará a execução dos contratos de concessão e avaliará o cumprimento das metas condicionais.

Outro marco regulatório importante é a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e define a responsabilidade dos entes federativos e das considerações de serviços. Essa lei exige a elaboração de planos de saneamento básico pelos municípios, com a participação da sociedade civil, como forma de garantir a transparência e a efetividade das ações externas para a melhoria dos serviços de saneamento. A Lei nº 11.445/2007 também define critérios para o planejamento e execução de projetos de saneamento, que devem ser baseados em dados técnicos e científicos, considerando os específicos de cada região e a promoção da saúde pública.

Os aspectos jurídicos também envolvem a regulação tarifária, um dos pontos mais sensíveis do setor. A agência reguladora, como a Agência Nacional de Águas (ANA), tem o papel de estabelecer as regras para a fixação de tarifas e para a cobrança dos serviços prestados, de forma que seja garantido o equilíbrio econômico-financeiro das entregas e a proteção dos interesses da população, principalmente das camadas mais vulneráveis. A regulação tarifária busca evitar abusos e garantir que os serviços sejam prestados de forma eficiente e com qualidade, respeitando o princípio da justiça social (*Borges & Almeida, 2019*).

Além disso, a responsabilidade civil e ambiental no setor de saneamento é uma questão importante no âmbito jurídico. O Código Civil Brasileiro e a Constituição Federal de 1988 preveem a responsabilidade do Estado e os assuntos de serviços de saneamento pela reposição de danos ambientais e pela proteção da saúde pública. Isso implica que os gestores e operadores dos serviços de água, esgoto e resíduos sólidos devem adotar medidas preventivas e corretivas para evitar contaminações e prejuízos ao meio ambiente e à população (*Carvalho, 2020*).

Apesar dos avanços legais e regulatórios, o setor de saneamento no Brasil ainda enfrenta desafios significativos, como a desigualdade no acesso aos serviços, principalmente nas áreas rurais e periferias urbanas, e a escassez de recursos para investimentos em infraestrutura. Portanto, é essencial que o marco regulatório continue sendo aprimorado, com foco na universalização dos serviços, na eficiência da gestão pública e na sustentabilidade ambiental.

A regulamentação do saneamento em Manaus está inserida no marco legal nacional, como a Lei nº 14.026/2020, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, que define a universalização dos serviços de água e esgoto até 2033 e estabelece novas diretrizes para a gestão e operação desses serviços, incluindo a ampliação da participação do setor privado através de concessões e parcerias público-privadas (PPP). Em nível municipal, Manaus também segue as diretrizes previstas na Lei nº 11.445/2007, que exige a elaboração de planos de saneamento básico pelos municípios e a criação de agências reguladoras locais para fiscalizar a execução desses planos. A Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas (FVS) e a Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Amazonas (ARSAM) são alguns dos órgãos responsáveis pela fiscalização e regulamentação do saneamento na cidade.

Manaus tem avançado na melhoria do saneamento básico com a expansão da rede de esgoto e de abastecimento de água, especialmente em áreas mais periféricas, mas ainda enfrenta grandes desafios, como a cobertura insuficiente do sistema de esgoto, com apenas cerca de 40% da população atendida por rede de esgoto coletora (dados de 2021). A água potável, apesar de ser distribuída para uma maior parte da população, também sofre com a qualidade da rede e a necessidade de melhorias na infraestrutura.

Outro ponto relevante é a gestão dos resíduos sólidos. O município de Manaus possui um sistema de coleta e disposição de resíduos, mas a reciclagem e o tratamento ainda são muito incipientes, o que acarreta problemas ambientais e de saúde pública. Em 2020, a cidade firmou o compromisso de reduzir a quantidade de resíduos sólidos enviados aos aterros e melhorar a gestão de reciclagem, mas as dificuldades financeiras e logísticas persistem, além da falta de incentivos à reciclagem nas áreas periféricas.

A agência reguladora estadual tem se deparado com desafios na implementação de marcos regulatórios eficientes, dada a vastidão territorial de Manaus e as desigualdades regionais que dificultam a prestação uniforme dos serviços de saneamento. O aumento da participação privada, com a concessão de áreas para gestão do saneamento, tem sido uma estratégia para ampliar a cobertura dos serviços, embora a implementação seja lenta e dependa de investimentos substanciais em infraestrutura e inovação tecnológica.

Aspectos ambientais também são de grande importância na regulação do saneamento em Manaus, dada a proximidade da cidade com a floresta amazônica e a relevância dos rios e igarapés para a vida local. A preservação dos cursos d'água e o tratamento do esgoto de forma eficiente para evitar a contaminação de fontes hídricas são essenciais para a saúde pública e a sustentabilidade do meio ambiente. A política de recuperação de áreas degradadas (PRAD) e os programas de saneamento ambiental sustentável, como o Programa de Proteção de Águas (PPA), são algumas das iniciativas que buscam mitigar os impactos ambientais causados pela expansão urbana e pela crescente demanda por água e esgoto.

A regulação do saneamento em Manaus, portanto, passa por um processo de aprimoramento, com o governo estadual e municipal buscando implementar os avanços da legislação nacional, enquanto enfrenta desafios locais, como a desigualdade na cobertura dos serviços e a necessidade urgente de inovações tecnológicas e práticas sustentáveis.

## 2.16 A IMPORTÂNCIA DA CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO PROFISSIONAL PARA MELHOR GERIR AS PRÁTICAS DE SANEAMENTO AMBIENTAL

A capacitação e o treinamento profissional são fundamentais para a melhoria dos serviços de saneamento básico no Brasil, especialmente em cidades como Manaus, onde o crescimento populacional e os desafios ambientais exigem uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, esgoto e resíduos sólidos. O setor de saneamento básico enfrenta um conjunto de desafios técnicos e operacionais que exigem profissionais envolvidos em diversas áreas, como engenharia sanitária, gestão de recursos hídricos, tratamento de água e esgoto, controle ambiental, entre outros. O desenvolvimento de capacitação profissional é essencial para garantir a qualidade dos serviços prestados, a eficiência nos processos e a implementação de práticas sustentáveis.

Em Manaus, onde o saneamento básico ainda apresenta lacunas significativas — com apenas uma parte da população tendo acesso à rede de esgoto e problemas recorrentes com a qualidade da água e a gestão de resíduos sólidos —, a qualificação dos profissionais se torna uma prioridade. As áreas de tratamento de água e esgoto, gestão de resíduos sólidos e controle de poluição hídrica exigem

técnicos e gestores capacitados para implementação de soluções adequadas às especificidades da região, que incluem grandes desafios logísticos devido à sua extensa área e condições climáticas.

A falta de treinamento especializado pode levar a falhas operacionais, como o mau funcionamento de sistemas de tratamento de água, esgoto e resíduos, ou até mesmo a execução integrada de projetos que envolvem a infraestrutura de saneamento, gerando impactos ambientais e problemas de saúde pública. A formação contínua também é necessária devido aos avanços tecnológicos no setor, que ativam a atualização constante dos profissionais, especialmente no que diz respeito às novas tecnologias de tratamento, economia circular, uso sustentável dos recursos hídricos e gestão integrada de resíduos.

Diversos programas de capacitação profissional têm sido implementados no Brasil, como o Programa Nacional de Capacitação em Saneamento (PRONAC), que oferece cursos e treinamentos voltados para os profissionais do setor. Em Manaus, o governo estadual e as empresas concessionárias de água e esgoto também têm investido em treinamentos, mas a formação de uma força de trabalho altamente desenvolvida ainda é um desafio. O aprimoramento das capacidades técnicas nas áreas de gestão de serviços, planejamento urbano, educação ambiental e comunicação social são fundamentais para o avanço do saneamento no estado do Amazonas.

Além disso, o setor público tem um papel importante na promoção de capacitação, através da descentralização da gestão de saneamento, envolvendo a participação de gestores municipais e líderes comunitários nos processos de planejamento e monitoramento das políticas de saneamento. Essa capacitação não deve se restringir aos técnicos, mas também deve ser voltada para a população, promovendo a educação sanitária e a sensibilização para o uso racional da água, o tratamento do esgoto e o gerenciamento de resíduos.

Ademais, a formação de parcerias entre universidades, empresas de saneamento, governos locais e organizações não governamentais (ONGs) tem se consolidado como uma estratégia essencial para enfrentar os desafios do saneamento básico no Brasil, incluindo cidades como Manaus, onde as dificuldades logísticas e ambientais são particularmente pronunciadas. Essas parcerias prometem um

ambiente propício para a troca de conhecimento técnico, desenvolvimento de tecnologias inovadoras e implementação de soluções sustentáveis.

As universidades desempenham um papel fundamental nesse processo, oferecendo capacitação acadêmica e pesquisas aplicadas que podem gerar novos modelos de gestão, tecnologias de tratamento de água e esgoto, e metodologias de reciclagem de resíduos que atendem às necessidades específicas das cidades. Em Manaus, por exemplo, as universidades locais, como a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), têm realizado pesquisas que buscam soluções para o tratamento de águas em áreas periféricas, com foco no uso de tecnologias sustentável, como os sistemas de reutilização de água e o tratamento descentralizado de esgoto.

As empresas de saneamento, por sua vez, têm uma contribuição prática significativa, fornecendo infraestrutura e implementando projetos de modernização das redes de distribuição de água, expansão do sistema de esgoto e desenvolvimento de soluções inovadoras para o tratamento de resíduos sólidos. Em Manaus, empresas de consultoria, como a Águas de Manaus, têm procurado adotar novas tecnologias, muitas vezes em parceria com universidades e ONGs, para ampliar a cobertura dos serviços e melhorar a qualidade da água e esgoto tratados.

Os governos locais, no âmbito estadual e municipal, são responsáveis pela regulação, planejamento e implementação das políticas públicas de saneamento, e sua colaboração com o setor acadêmico e privado é fundamental para alinhar as necessidades da população às inovações e aos investimentos tecnológicos necessários para a modernização da infraestrutura. O governo do estado do Amazonas, por exemplo, tem incentivado uma parceria público-privada (PPP) para a ampliação dos serviços de saneamento, facilitando a entrada de novos investimentos e a adoção de tecnologias de ponta.

As organizações não governamentais (ONGs) têm um papel importante na sensibilização e educação ambiental, trabalhando diretamente com as comunidades locais. Eles desempenham um papel de mediadores, conectando as necessidades das populações mais vulneráveis com as soluções técnicas abordadas pelas universidades e empresas. Além disso, as ONGs podem ajudar na mobilização social, promovendo a educação sanitária e incentivando a participação comunitária em ações

de gestão de resíduos, conservação dos recursos hídricos e preservação do meio ambiente.

Essas parcerias, ao promoverem uma sinergia entre setores diferentes, não apenas ampliam o acesso e a qualidade dos serviços de saneamento, mas também criam um ambiente de inovação constante, levando em consideração as especificidades locais e a necessidade de soluções adequadas ao contexto socioeconômico e ambiental. Em Manaus, por exemplo, iniciativas conjuntas entre universidades e empresas já conseguiram ser inovadoras para melhorar a qualidade da água do igarapé do Mindu e outras fontes hídricas que abastecem a cidade, com a utilização de tecnologias sustentáveis e modelos de gestão integrada de recursos hídricos.

Portanto, a formação de parcerias entre os diferentes atores sociais é uma estratégia essencial para a melhoria contínua do saneamento no Brasil, especialmente em áreas com características e desafios específicos, como Manaus, onde é necessário um esforço conjunto para garantir a universalização dos serviços de água e esgoto, a preservação dos recursos naturais e o bem-estar da população.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### FIGURA 6 – organograma

Para fundamentar este trabalho, foi consultada a bibliografia disponível correlacionada ao tema, abordando teorias e estudos anteriores sobre a bacia hidrográfica, poluição urbana, uso do solo e gestão de recursos hídricos. A revisão bibliográfica proporcionou uma base sólida para compreender as dinâmicas ambientais e sociais da região, permitindo uma análise crítica das situações identificadas. Além disso, a revisão permitiu comparar os resultados obtidos com outros estudos, enriquecendo as análises e propondo soluções fundamentadas para os problemas encontrados.

Complementarmente, foi realizada uma coleta de dados no local por meio de observação direta das condições do igarapé e das áreas adjacentes. Aspectos como qualidade da água, práticas de ocupação irregular e impactos ambientais prejudiciais foram registrados. Essas informações foram cruciais para aprofundar a análise, permitindo o cruzamento de dados quantitativos e qualitativos e contribuindo para embasar propostas de intervenção e soluções voltadas à recuperação e à gestão sustentável da bacia.

Foi levantado um amplo conjunto de informações sobre a bacia hidrográfica do igarapé do Mindu, abrangendo o uso do solo, as atividades humanas predominantes, a ocupação irregular, as modificações na paisagem, a poluição e a qualidade da água. Identificou-se o impacto das construções irregulares nas margens do igarapé, o desmatamento da vegetação ciliar e a impermeabilização do solo, além de problemas de poluição relacionados ao lançamento de esgoto e resíduos sólidos, que comprometem a qualidade da água e afetam o equilíbrio ambiental da região. Esses dados foram essenciais para compreender os impactos ambientais e fornecer subsídios para a gestão sustentável da bacia.

No âmbito da qualidade da água, foram realizadas coletas de amostras em diferentes pontos ao longo da área de estudo, considerando locais estratégicos que representassem as diversas condições ambientais do igarapé. Para garantir uma avaliação abrangente, as coletas ocorreram em diferentes períodos, levando em conta variações sazonais e possíveis alterações nas condições do corpo hídrico ao longo

do tempo. As amostras foram retiradas em pontos próximos às áreas de maior ocupação urbana e em locais mais afastados, com o objetivo de comparar os impactos exercidos sobre o igarapé. Após a coleta, as amostras foram submetidas a análises laboratoriais, avaliando indicadores como pH, turbidez, coliformes fecais e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Esses parâmetros são essenciais para identificar substâncias poluentes, avaliar a capacidade do ecossistema aquático em manter a vida e verificar a adequação da água para consumo e outras atividades.

Com base nas observações realizadas, foram identificadas ameaças à fauna e à flora do igarapé, incluindo poluição das águas, ocupação irregular e perda de habitat. A redução da cobertura vegetal ciliar compromete a proteção das margens, aumentando a vulnerabilidade ao processo de erosão e sedimentação, o que afeta diretamente as espécies aquáticas e terrestres que dependem desses habitats para alimentação e reprodução. Além disso, a observação das espécies presentes ao longo do igarapé permitiu identificar aquelas que demonstravam adaptação a condições adversas, como a presença de poluição e espécies invasoras. Esses dados são relevantes para compreender como a biodiversidade local está respondendo às pressões ambientais e para orientar práticas de manejo que favoreçam a conservação das espécies mais vulneráveis.

As informações coletadas foram fundamentais para elaborar recomendações para a restauração e preservação do ecossistema do igarapé do Mindu. Entre as medidas propostas, destacam-se a recuperação da vegetação ciliar, a criação de áreas de preservação permanente (APPs) e o desenvolvimento de programas de educação ambiental para sensibilizar a comunidade sobre a importância da biodiversidade e da proteção dos recursos naturais. Essas ações visam proporcionar um ambiente mais equilibrado e sustentável, promovendo a recuperação das funções ecológicas do igarapé.

A análise integrada dos impactos ambientais no igarapé do Mindu, considerando poluição, assoreamento, erosão, desmatamento e modificações da paisagem, evidenciou a necessidade urgente de políticas públicas e ações concretas, como o reflorestamento, para mitigar os efeitos negativos da urbanização desordenada. Essa urbanização resultou em contaminação da água, perda de biodiversidade e aumento das enchentes, comprometendo o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida da comunidade local. Diante desse cenário, torna-se essencial

implementar medidas de manejo ambiental sustentável. Entre as ações sugeridas, destacam-se os métodos do Programa Produtor de Água (PPA) e do Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), descritos a seguir.

O Programa Produtor de Água (PPA), desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), visa promover práticas de conservação ambiental em bacias hidrográficas por meio de incentivos financeiros às propriedades rurais que implementam ações sustentáveis. Entre essas práticas estão a proteção de nascentes, o manejo sustentável do solo e a recuperação de áreas degradadas, com o objetivo de melhorar a infiltração da água no solo e a qualidade dos recursos hídricos (ANA, 2020). Esse modelo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) tem apresentado resultados positivos em várias regiões do Brasil, como a redução da erosão e a melhoria da qualidade da água.

No caso do igarapé do Mindu, no bairro Novo Aleixo, o PPA poderia ser uma estratégia eficaz para proteger e restaurar as margens do igarapé. Com sua implementação, seria possível reduzir a erosão, controlar enchentes e melhorar a qualidade da água, beneficiando diretamente a comunidade local ao diminuir doenças relacionadas à água contaminada e valorizar ambientalmente a área.

Já o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é uma metodologia estruturada para restabelecer a funcionalidade de ecossistemas degradados. Suas ações incluem o plantio de vegetação nativa, a contenção de processos erosivos e a criação de condições que favoreçam a regeneração sustentável do ambiente (Cruz et al., 2018). Esse programa tem sido amplamente aplicado em áreas impactadas por desmatamento e poluição, com resultados significativos na restauração ecológica.

No contexto do igarapé do Mindu, o PRAD desempenharia um papel essencial na recuperação das áreas degradadas ao longo de suas margens, que foram comprometidas pelo descarte inadequado de resíduos sólidos e pela presença de esgoto clandestino. A restauração da vegetação nativa não apenas estabilizaria as margens do igarapé, como também melhoraria a qualidade da água e contribuiria para o restabelecimento da biodiversidade local, oferecendo um ambiente mais saudável e atraente para a população.

A adoção conjunta do PPA e do PRAD potencializaria os benefícios ambientais e sociais no igarapé do Mindu. Enquanto o PPA promoveria ações preventivas de conservação, o PRAD focaria na recuperação das áreas já impactadas. Essa abordagem integrada fortaleceria os serviços ecossistêmicos, resultando em margens protegidas, água de melhor qualidade e maior biodiversidade. Além disso, como observado por Rodrigues (2011), estratégias combinadas de conservação e restauração são mais eficazes no engajamento comunitário e na sustentabilidade de longo prazo.

A implementação desses programas também ajudaria a sensibilizar e envolver a população do bairro Novo Aleixo, promovendo educação ambiental e incentivando práticas sustentáveis. A revitalização do igarapé do Mindu poderia se tornar um exemplo de gestão integrada de recursos naturais, melhorando a qualidade de vida local e contribuindo para a sustentabilidade urbana.

A seguir, está um organograma resumindo as ações propostas:

FIGURA 6 – organograma



#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Uma análise da qualidade da água do igarapé do Mindu revelou que uma amostra coletada não atende integralmente às normas da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2021 (PRC nº 5), que regulamenta a potabilidade da água para consumo humano. O principal problema identificado foi o parâmetro de turbidez, que ultrapassou o limite máximo de 5 NTU (unidade de turbidez nefelométrica) definido pela portaria. Esse nível elevado de turbidez indica a presença de sedimentos, resíduos orgânicos ou materiais em suspensão, comprometendo a qualidade do recurso hídrico e representando riscos à saúde pública. Além disso, a turbidez elevada pode dificultar os processos de purificação da água, aumentar os custos de tratamento e prejudicar a biodiversidade aquática local.

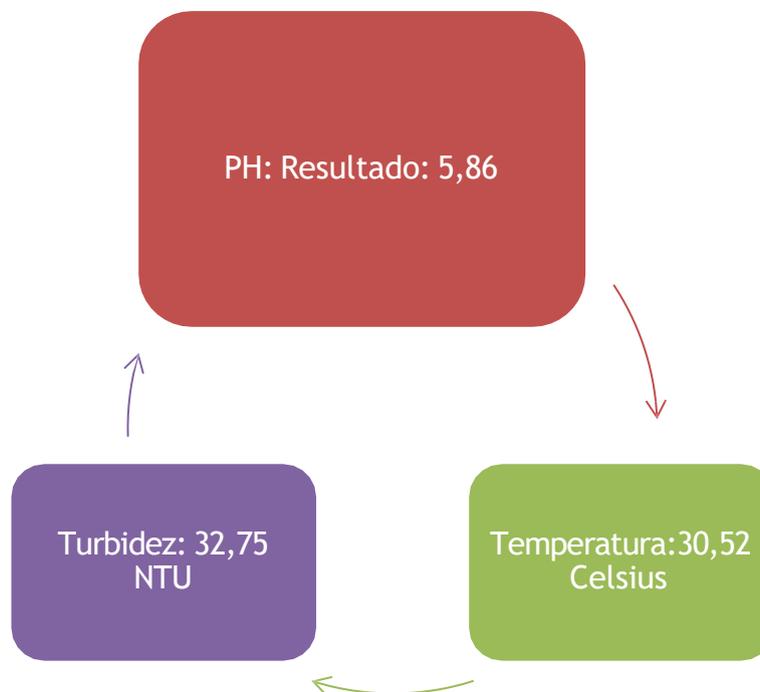
Outro aspecto preocupante é o valor do pH da amostra, que ficou abaixo da faixa recomendada de 6,0 a 9,5. Embora o pH registrado não represente um risco imediato à saúde, leituras inferiores a 6,0 podem indicar a presença de substâncias ácidas, afetando a biodiversidade e alterando o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Apesar do valor apresentado ser próximo ao limite inferior, ele sugere a necessidade de monitoramento contínuo para evitar o agravamento da acidez e os possíveis impactos na fauna e flora do igarapé.

Esses resultados refletem diretamente as condições ambientais, a gestão prejudicial de resíduos e as atividades humanas realizadas nas proximidades do igarapé. A poluição, o descarte de efluentes domésticos e industriais, e a manipulação das margens significativamente para a flexibilidade da qualidade da água. Esses fatores não apenas ameaçam a saúde da população, mas também exigem a manutenção dos ecossistemas aquáticos e a sustentabilidade do recurso hídrico.

Diante desse cenário, a urgência de ações de controle e gestão da qualidade da água torna-se evidente. Medidas como o tratamento adequado de efluentes, o

controle da poluição e a restauração de áreas degradadas ao longo das margens são essenciais. A implementação de políticas públicas eficazes, aliada à conscientização da população sobre os impactos das atividades urbanas, desempenha um papel fundamental na preservação da qualidade da água. Somente por meio de conjuntos de esportes será possível garantir a segurança hídrica e a proteção dos ecossistemas aquáticos no longo prazo. Logo abaixo, estão os resultados obtidos pela análise da água:

FIGURA 7



Fonte: Análise feita pela Empresa ecoa.jr

Além da análise da água, foi possível constatar que a urbanização desordenada no bairro Novo Aleixo, em Manaus-AM, gerou sérios impactos ambientais no igarapé do Mindu, refletidos na erosão das margens, na perda de biodiversidade e na restrição da qualidade de vida das comunidades locais. Esses problemas estão interligados e decorrem da falta de planejamento urbano sustentável e da gestão consumida dos recursos naturais.

A destruição das margens é um dos problemas mais evidentes, resultante principalmente da remoção da vegetação ciliar, que desempenha um papel essencial

na proteção das margens contra a ação erosiva das águas e na estabilização do solo. A urbanização intensifica esse processo, pois a impermeabilização do solo aumenta o fluxo de águas pluviais, agravando o desmoronamento das margens e o assoreamento do leito do igarapé. Além dos prejuízos ambientais, como a manipulação de habitats e a perda de solo, esse processo afeta diretamente a população local, colocando em risco infraestruturas essenciais, como ruas, pontes e edificações, além de reduzir áreas para habitação e atividades econômicas.

Os impactos na fauna e na flora são igualmente alarmantes. A poluição por resíduos sólidos e efluentes domésticos e industriais, somada à destruição das margens, compromete os organismos aquáticos e terrestres que dependem do igarapé para sua sobrevivência. As espécies nativas enfrentam declínios populacionais, enquanto as espécies invasoras se adaptam às condições alteradas, desequilibrando ainda mais o ecossistema. Na flora, a remoção da vegetação ciliar para a expansão urbana facilita a entrada de espécies exóticas invasoras e reduz a diversidade de espécies nativas, comprometendo a funcionalidade ecológica e a resiliência do sistema.

A urbanização desordenada também se manifesta por meio da canalização do igarapé, alterações no leito e construção de barragens, intervenções que intensificam problemas como poluição, erosão e perda de biodiversidade. Além disso, o descarte inadequado de resíduos sólidos nas proximidades do igarapé contribui para o assoreamento, agrava a qualidade da água e aumenta a frequência de enchentes, ampliando os impactos para a população.

Embora os esforços pontuais tenham sido realizados, como programas de revitalização e saneamento, os resultados foram limitados por insuficiências de recursos, mudanças na gestão pública e baixa adesão comunitária. A falta de um monitoramento ambiental robusto impede uma avaliação precisa das ações realizadas e o ajuste necessário para garantir sua eficácia. Logo abaixo, observa-se registros fotográficos feitos sobre a atual condição do igarapé do Mindu:

Figura 8- Foto tirada de um dos pontos de local de estudo



Fonte: Autoria própria

Para reverter esse cenário, é essencial adotar medidas integradas e sustentáveis. A recuperação da vegetação ciliar por meio do plantio de espécies nativas e a estabilização das margens com técnicas de bioengenharia são fundamentais para conter a restauração e restaurar o equilíbrio ambiental. Simultaneamente, a criação de corredores ecológicos pode promover a conectividade entre habitats e aumentar a resiliência do ecossistema. O aprimoramento das redes de saneamento básico e o fortalecimento da legislação ambiental também são ações prioritárias para reduzir a poluição e garantir a sustentabilidade do igarapé.

Além das ações práticas, a conscientização da população é necessária. Campanhas educativas e programas de mobilização social podem fomentar o senso de responsabilidade coletiva, incentivando práticas que minimizem os impactos das

atividades humanas. A colaboração entre o poder público, as instituições acadêmicas e a comunidade local são necessárias para consolidar essas iniciativas e promover soluções.

Os resultados persistentes observados ao longo dos anos no Igarapé do Mindu destacam de forma incontestável a urgência de mudanças estruturais e de um compromisso contínuo com a sustentabilidade da região. A gestão dos recursos hídricos e dos ecossistemas ao longo de suas margens não pode ser resolvida sem uma abordagem integrada e de longo alcance. A criação de um plano de gestão específico para o Igarapé do Mindu, com ações de curto, médio e longo prazo, é fundamental para mitigar os danos já causados e prevenir novos problemas. Este plano deve incluir medidas de recuperação ambiental, como a revegetação das margens, o controle da poluição e o tratamento adequado do esgoto doméstico e industrial.

Um sistema de monitoramento contínuo será crucial para avaliar a eficácia das ações inovadoras, possibilitando ajustes necessários e garantindo a utilização eficiente dos recursos financeiros. Além disso, a implementação de tecnologias avançadas de monitoramento da qualidade da água, como sensores e ferramentas de geoprocessamento, pode facilitar a coleta de dados em tempo real, otimizando a resposta das autoridades e comunidades frente a eventuais crises de poluição. Também é essencial envolver a comunidade local, garantindo que a população que depende diretamente do igarapé participe das decisões, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos naturais.

A colaboração entre governos, empresas, universidades e organizações não governamentais será um dos pilares para o sucesso de qualquer iniciativa aberta à recuperação e preservação do Igarapé do Mindu. Além de ações de conscientização ambiental e educação para a sustentabilidade, é preciso investir em infraestrutura que permita o tratamento adequado dos resíduos e do saneamento básico para as comunidades ribeirinhas. Somente com esforços coordenados e um planejamento robusto será possível garantir que o Igarapé do Mindu continue a fornecer benefícios ecológicos, sociais e econômicos à população de Manaus e à região, ao mesmo tempo que preserva sua função ambiental vital.

Somente por meio de uma abordagem integrada e de longo prazo será possível reverter os danos causados pela urbanização desordenada, preservar o igarapé do Mindu e garantir o bem-estar das gerações futuras. A recuperação do igarapé é essencial não apenas para a saúde ambiental, mas também para a qualidade de vida das comunidades locais, dependentes de recursos hídricos para subsistência e lazer. A implementação de políticas públicas eficazes, ações de educação ambiental e tecnologias sustentáveis são fundamentais para mitigar os impactos da urbanização. Além disso, a participação ativa da população e a integração de esforços entre governo, sociedade e ciência podem transformar o igarapé em um modelo de convivência sustentável. Essa recuperação reforça o compromisso com a preservação do patrimônio natural e cultural da região, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento e conservação.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo realizado sobre o igarapé do Mindu no bairro Novo Aleixo, Manaus-AM, demonstrou ser de grande relevância ao destacar os impactos ambientais decorrentes da urbanização desordenada e da ausência de políticas públicas adequadas para a proteção dos recursos hídricos. A análise técnica e ambiental conduzida abordou com profundidade questões críticas, como a poluição, o assoreamento, a erosão das margens, o desmatamento e as modificações na paisagem. Esses fatores, em conjunto, comprometem a qualidade da água, a biodiversidade e a estabilidade do ecossistema, gerando implicações diretas para a saúde pública e o bem-estar das comunidades locais.

Os objetivos do trabalho foram alcançados de forma significativa, com a identificação dos problemas centrais que afetam o igarapé e a proposição de soluções práticas para mitigá-los. Entre as recomendações, destacam-se a implementação do Programa Produtor de Água (PPA) e do Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que oferecem estratégias para conservação preventiva e restauração de áreas degradadas. Essas iniciativas se mostram alinhadas com os princípios de sustentabilidade e apresentam potencial para reduzir os impactos da poluição, controlar a erosão das margens e melhorar a qualidade da água.

O estudo também evidenciou a importância da integração entre conservação ambiental e desenvolvimento urbano sustentável. Ao investigar o igarapé do Mindu, foi possível compreender como a interação entre urbanização e recursos naturais é particularmente desafiadora na região amazônica. Dessa forma, o trabalho vai além de uma análise local, contribuindo para o entendimento mais amplo dos impactos da urbanização sobre ecossistemas frágeis, servindo como referência para estudos futuros e para a formulação de políticas públicas específicas.

A relevância do trabalho é destacada pela sua contribuição prática e teórica. Por um lado, ele oferece soluções concretas para os problemas identificados, incluindo práticas de manejo sustentável e ações de restauração ambiental. Por outro, amplia o debate acadêmico sobre a gestão de recursos hídricos e sustentabilidade em áreas urbanas, principalmente em contextos como o de Manaus, onde as pressões sobre os recursos naturais são exacerbadas pelas características geográficas e sociais da região.

Para pesquisas futuras, o estudo abre uma série de possibilidades promissoras. Uma delas é o aprofundamento do monitoramento da qualidade da água em diferentes períodos sazonais, o que permitiria uma análise mais detalhada das variações e tendências ao longo do tempo. Além disso, é fundamental investigar a viabilidade técnica e econômica de sistemas de saneamento inovadores que possam ser implementados em comunidades próximas ao igarapé, especialmente soluções voltadas para o reaproveitamento de águas residuais. Outra área de grande potencial é o estudo de estratégias para envolver as comunidades locais no manejo sustentável do igarapé, promovendo educação ambiental e fortalecendo o engajamento da população na conservação do meio ambiente.

A pesquisa também trouxe a necessidade de uma abordagem integrada que combine conservação, restauração e políticas públicas de saneamento básico. A implementação de programas de reflorestamento das margens, a melhoria da infraestrutura de saneamento e a promoção de ações educativas são passos cruciais para garantir a sustentabilidade do igarapé. Além disso, a criação de incentivos para que empresas e instituições locais invistam em soluções ecológicas pode ser uma estratégia eficaz para potencializar os resultados.

Em síntese, o estudo não apenas cumpriu seus objetivos iniciais como também abriu novas perspectivas para o manejo sustentável do igarapé do Mindu. A partir das análises e recomendações propostas, o trabalho consolida sua relevância ao contribuir tanto para a gestão de recursos hídricos quanto para a promoção de um desenvolvimento urbano mais equilibrado. Apesar dos desafios identificados, as soluções apresentadas indicam caminhos viáveis para mitigar os impactos negativos e restaurar a funcionalidade ecológica do igarapé, assegurando benefícios duradouros para a população e para o meio ambiente. Assim, a pesquisa reforça a importância de uma abordagem integrada e colaborativa, destacando que o equilíbrio entre urbanização e conservação ambiental é possível e necessário para garantir a qualidade de vida e a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

CODEVASF, (2023). **Codevasf avança nas ações de proteção de nascentes em Goiás**, disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2023/codevasf-avanca-nas-aco-es-de-protecao-de-nascentes-em-goias>. Acesso em: 07 janeiro.2025

CODEVASF, (2016). **Plano nascente rio são Francisco- Plano de preservação recuperação de nascentes do rio são Francisco**. 4, 41-46

NAÇÕES UNIDAS, 2015. [brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel](http://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel) Acesso em 15.abril.2023

LOPES, ALFREDO. Igarapé do Mindu retrato dramático da civilização Manaúra disponível; Igarapé do Mindu, retrato dramático da civilização Manaó - Brasil Amazônia Agora ([brasilamazoniaagora.com.br](http://brasilamazoniaagora.com.br)). Acesso em. 18.abril.2023

ACRÍTICA, (2022). **Saneamento de água em Manaus é marcado por investimentos desde o século XIX**, disponível em: Saneamento de água em Manaus é marcado por investimentos desde o século XIX ([acritica.com](http://acritica.com)) Acesso: 18.abril.2023

BRILHANTE, NELSON, (2022). **Menos de um quilômetro do igarapé do mindu tem água regular para consumo**. Disponível em: <https://www.acritica.com/manaus/menos-de-um-quilometro-do-igarape-do-mindu-tem-agua-regular-para-consumo-1.184721> Acesso em: 09. Dezembro.2024

MACHADO, Ana Lúcia Soares. A educação ambiental para gestão sustentável da água: estudo de caso do Igarapé do Mindu-Manaus, Am. 2012.

Ferreira, S. J. F., Miranda, S. Á. F., Marques Filho, A. D. O., & Silva, C. C. (2012). Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 42, 533-540.

Grobe, Cristiana Maria Petersen. "Manaus e seus Igarapés: A construção da cidade e suas representações (1880-1915)." (2014).

RABELLO, R. P.; RODRIGUES, Z. A. L. Planejamento e sustentabilidade urbana: ações de proteção dos Igarapés de Manaus. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 80–101, 2013. DOI: 10.22292/mas.v3i2.192. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/articloe/view/192>. Acesso em: 30 abr. 2023.

DE ALBUQUERQUE, Natalia Ramos; MOLINARI, Deivison Carvalho. Caracterização da cobertura vegetal no alto curso da bacia do igarapé do Mindu-Manaus (AM). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 406-422, 2020.

DE SOUZA FILHO, Elton Alves et al. Estudo comparativo de aspectos físico-químicos entre águas da microbacia do mindu e igarapés sob influência antrópica na cidade de Manaus-AM/Comparative study of physicochemical aspects between mindu microbacy waters and igarapes under anthropic influence in Manaus-AM city. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 2419-2433, 2020.

SANTOS, A. C.; LEITE, T. S. Monitoramento e avaliação da qualidade da água do Igarapé do Mindu em Manaus – AM. *Revista de Engenharia e Sustentabilidade*, v. 1, n. 1, p. 71-82, 2021.

**SEMMAS. Programa de Monitoramento de Qualidade da Água do Igarapé do Mindu.** Manaus: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2017.

LOPES, M. J. N.; DA SILVA, M. do S. R.; SAMPAIO, R. T. de M.; BELMONT, E. L. L.; SANTOS-NETO, C. R. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DA ÁGUA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANAUS UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, [S. l.], v. 3, n. 2, 2008. Disponível em: <http://68.183.29.147/revista/index.php/sabios/article/view/96>. Acesso em: 13 maio. 2023..

ALBUQUERQUE, F., SOUZA, S.K., PIMENTEL, T.C.S., PEREIRA, F.F.O., CUNHA, T.V.P. Fauna e Flora do Igarapé do Mindu: Levantamento e Diagnóstico. In: COELHO, L. (org.) *Conservação e Sustentabilidade Ambiental na Amazônia*. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, p. 47-60, 2018.

ARRUDA, Rubem. Erosão das margens dos rios e seus impactos. *Revista Científica Eletrônica do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia*, Manaus, v. 9, n. 2, p. 1-14, jul./dez. 2016. Disponível em: [http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/A018\\_06\\_eixo2\\_073\\_0f0236a1d59113e8db4dfcdb332b276c.pdf](http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/A018_06_eixo2_073_0f0236a1d59113e8db4dfcdb332b276c.pdf). Acesso em: 30 set. 2021.

BORGES, Alexandre de Jesus; LEMONTE, Artur José Soares. Análise das causas e consequências dos processos erosivos em margens de rios urbanos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, n. 2, p. 77-85, 2011. Disponível em: <https://www.revista.ufpe.br/rbg/article/view/777>. Acesso em: 30 set. 2021.

GUARIDO, Paula Carolina Paes. Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus, Amazonas. 2014.

AB'SÁBER, Aziz Nacib. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. Ateliê editorial, 2003.

DE ALBUQUERQUE, Natalia Ramos; MOLINARI, Deivison Carvalho. Caracterização da cobertura vegetal no alto curso da bacia do igarapé do Mindu-Manaus (AM). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 406-422, 2020.

BLANCO, Karoline Cunha. As Peculiaridades das Ocupações Irregulares no Distrito Federal. **Paranoá**, n. 21, 2018.

SANTOS, Andrey Marcelo Braga. A análise socioambiental na sub-bacia hidrográfica do Franco, Manaus-AM. 2022.

BARRO, Andre Gama; JUNIOR, Aristides Felipe Santiago; DA SILVA JUNIOR, Washington Luiz Pedrosa. Manaus e a poluição de seus corpos d'água: um olhar sobre o igarapé do Mindu. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 28, n. 2, p. 1-21, 2023.

MELO, Juli Emille Pereira de. Levantamento dos impactos inerentes à inadequação do saneamento básico. 2020.

DE SOUZA-FILHO, Elton Alves; HORTÊNCIO-BATISTA, Ieda; DE ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho. Levantamento de aspectos físico-químicos das águas da microbacia do mindu em Manaus-Amazonas Survey of physical-chemical aspects of mindu microbacy waters in Manaus-Amazonas Levantamiento de aspectos físico-químicos de las águas de microbacia del mindu en Manaus-Amazonas.

BRITO, Alderlene Pimentel de. Potenciais efeitos das mudanças climáticas e ações antrópicas sobre a dinâmica do aquífero Alter do Chão na Amazônia Central, região de Manaus e adjacências. 2020.

ARACATY, Michele Lins et al. Manaus: de metrópole da Amazônia para cidade inteligente e sustentável. **Revista Faz Ciência**, v. 26, n. 43, 2024.

Costa, R. M., Almeida, F. J., & Silva, P. R. (2023). Desafios ambientais e econômicos na Zona Franca de Manaus: Um olhar para a sustentabilidade. *Revista Amazônica de Desenvolvimento*, 15(2), 45-67.

Moura, L. S., & Castro, V. T. (2023). Urbanização e seus impactos ambientais na região Norte do Brasil: O caso de Manaus. *Revista Brasileira de Planejamento Urbano*, 12(3), 89-102.

Silva, P. R., & Almeida, F. J. (2024). A transformação sustentável da Zona Franca de Manaus: Inovação e desafios futuros. Editora Amazônia.

Araújo, M. S., & Lima, T. R. (2024). Indústria 4.0 e sustentabilidade: A transformação tecnológica na Zona Franca de Manaus. *Revista Brasileira de Tecnologia e Inovação*, 9(1), 22-38.

Oliveira, J. F., Almeida, F. J., & Silva, P. R. (2023). Desigualdade urbana e seus impactos na Zona Franca de Manaus: Desafios para o futuro sustentável. *Revista Amazônia Urbana*, 8(4), 56-74.

Brasil. (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Altera a Lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Diário Oficial da União.

Ferreira, L. P., Oliveira, R. M., & Almeida, T. R. (2022). Impactos do PAC no saneamento básico e saúde pública no Brasil. *Revista de Políticas Públicas e Sustentabilidade*, 14(2), 33-50.

Nascimento, F. S., & Oliveira, P. T. (2023). Saneamento básico e seus reflexos na saúde pública: Análise das políticas públicas no Brasil. *Cadernos de Saúde e Ambiente*, 18(1), 45-62.

Silva, A. L., & Santos, M. F. (2023). Consórcios intermunicipais de saneamento no Brasil: Estratégias de integração e eficiência. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15(3), 78-94.

Hall, D. (2002). *Water Privatization: The United Kingdom and Beyond*. Pluto Press.

Pollitt, M. G. (2008). *The UK Water Industry: Regulation, Privatization, and the Role of Government*. Cambridge University Press.

Stewart, S. (2001). The Impact of Privatization on Public Utilities: Water and Sanitation in the United Kingdom. *Journal of Public Policy*, 21(2), 123-144

Agence Française de Développement. (2020). Les contrats de délégation de service public dans le secteur de l'eau et de l'assainissement.

Rémy, L. (2011). Les modes de gestion de l'eau en France: Analyses et évolutions. *Revue Française de Science Politique*, 61(3), 453-471.

Lefèvre, D. (2008). Water Management and Regulation: The French Experience. *International Journal of Water Resources Development*, 24(4), 549-561.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2020). Programa Produtor de Água: Manual de Implementação. Brasília: ANA.

Cruz, MC, Santos, EF, & Pereira, JL (2018). *Recuperação de Áreas Degradadas: Princípios e Práticas Sustentáveis*. São Paulo: Editora Ambiental.

Rodrigues, RR, Lima, RAF, & Gandolfi, S. (2011). Estratégias Integradas de Restauração e Conservação Ambiental. *Revista Brasileira de Ecologia*, 6(2), 89-102.

Neto, PA (2019). Economia Circular e Gestão de Resíduos no Saneamento: Novos Desafios para o Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária*, 24(4), 254-267.

Ferreira, MA, & Silva, LR (2020). Tecnologias Inovadoras no Saneamento: Aplicações de Economia Circulares para o Reaproveitamento de Água e Energia. *Jornal de Tecnologia Ambiental*, 15(2), 103-115.

Ribeiro, RF (2021). *Circular de Gestão de Resíduos e Economia: O Papel do Saneamento no Desenvolvimento Sustentável das Cidades*. Editora Ambiental.

Santos, AM e Souza, RL (2021). Desafios da Regulação do Saneamento em Manaus: Aspectos Jurídicos e Operacionais. *Revista de Administração Pública e Sustentabilidade*, 9(2), 112-128.

Ferreira, TL, & Oliveira, PM (2019). *Gestão de Saneamento no Amazonas: Desafios e Oportunidades*. Editora Ambiental.

Lima, AL, & Costa, FR (2020). A Regulação do Saneamento Básico e o Papel do Estado: Desafios e Oportunidades para o Setor Público no Amazonas. Revista Brasileira de Saneamento, 18(3), 45-62.

Costa, FR e Souza, DS (2019). Capacitação Profissional para o Saneamento: Desafios e Oportunidades no Brasil e Manaus. Revista Brasileira de Saneamento e Ambiental, 22(4), 301-315.

Lima, AL e Silva, MP (2020). Desenvolvimento de Capacidades no Setor de Saneamento: Implicações para o Avanço da Universalização no Brasil. Editora Ambiental.

Santos, RM e Oliveira, TM (2018). Treinamento Profissional em Saneamento Básico: Uma Necessidade Urgente para a Melhoria dos Serviços no Amazonas. Revista de Políticas Públicas, 24(2), 90-105.

Souza, PJ e Almeida, MT (2021). A Capacitação Profissional no Setor de Saneamento Básico: Desafios e Estratégias no Contexto de Manaus. Revista de Educação e Meio Ambiente, 19(3), 68-81.

LIMA, ISABELLE, (2022). **Relembre o balneário que fez parte da vida dos amazonenses na década de 1940** Disponível em: <https://portalamazonia.com/amazonia/relembre-o-balneario-que-fez-parte-da-vida-dos-amazonenses-na-decada-de-1930/> 1.184721 Acesso em: 07. jane

