

Desenvolvimento de um Robô Autônomo Capaz de Monitorar e Coletar Resíduos Flutuantes em Rios, Lagos e Mares

Isabella Fernanda Gomes Pereira Araujo
Danielle Alessandra Pereira de Brito (Orientador)
Aira Beatriz Cardoso de Souza (Coorientador)

Resumo

Este trabalho desenvolveu um protótipo de robô autônomo para monitorar e coletar resíduos flutuantes em rios, lagos e mares, visando contribuir para a melhoria da qualidade das águas no Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. A pesquisa foi justificada pela escassez e desatualização de dados sobre a qualidade da água nessas regiões, o que dificulta a compreensão do panorama hídrico e a implementação de medidas efetivas. Além disso, a situação é agravada pela desigualdade ambiental e social, onde comunidades mais pobres são desproporcionalmente afetadas pela falta de acesso a água potável segura. A metodologia envolveu um levantamento bibliográfico, seleção de materiais, design virtual utilizando o software Tinkercad, montagem e testes do protótipo. Propôs-se também a integração do robô com tecnologia de Internet das Coisas (IoT) para aprimorar suas capacidades e permitir a monitoração remota. A pesquisa está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 e 14 da ONU, contribuindo para garantir acesso equitativo à água potável e conservar os ecossistemas aquáticos. Os resultados obtidos com o desenvolvimento do protótipo foram promissores, mostrando que a tecnologia pode ser eficaz na coleta de resíduos flutuantes em diferentes ambientes aquáticos. Além disso, a integração com IoT demonstrou potencial para melhorar a eficiência e a escalabilidade da solução, permitindo a monitoração contínua e a tomada de decisões baseadas em dados em tempo real.

Palavras-chave: Robô Autônomo; IoT; Monitoramento da Qualidade da Água.



Recebido em: maio. 2025. Aceito em: setembro. 2025

DOI: 10.56069/2676-0428.2025.692

Estudos do Cotidiano: a ciência do hoje

Outubro, 2025, v. 3, n. 31

Periódico Multidisciplinar da FESA Educacional

ISSN: 2676-0428



Development of an Autonomous Robot Capable of Monitoring and Collecting Floating Waste in Rivers, Lakes and Seas

Abstract

This work developed a prototype of an autonomous robot to monitor and collect floating waste in rivers, lakes and seas, aiming to contribute to the improvement of water quality in Brazil, especially in the North and Northeast regions. The research was justified by the scarcity and outdated data on water quality in these regions, which makes it difficult to understand the water panorama and implement effective measures. In addition, the situation is exacerbated by environmental and social inequality, where poorer communities are disproportionately affected by a lack of access to safe drinking water. The methodology involved a bibliographic survey, selection of materials, virtual design using the Tinkercad software, assembly and testing of the prototype. It was also proposed to integrate the robot with Internet of Things (IoT) technology to enhance its capabilities and allow remote monitoring. The research is aligned with UN Sustainable Development Goals (SDGs) 6 and 14, contributing to ensuring equitable access to drinking water and conserving aquatic ecosystems. The results obtained with the development of the prototype were promising, showing that the technology can be effective in collecting floating waste in different aquatic environments. In addition, the integration with IoT has demonstrated potential to improve the efficiency and scalability of the solution, allowing for continuous monitoring and decision-making based on real-time data.

Keywords: Autonomous Robot; IoT; Water Quality Monitoring.

Desarrollo de un robot autónomo capaz de monitorizar y recoger residuos flotantes en ríos, lagos y mares

Resumen

Este trabajo desarrolló un prototipo de robot autónomo para monitorear y recolectar desechos flotantes en ríos, lagos y mares, con el objetivo de contribuir a la mejora de la calidad del agua en Brasil, especialmente en las regiones Norte y Nordeste. La investigación se justificó por la escasez y la desactualización de los datos sobre la calidad del agua en estas regiones, lo que dificulta la comprensión del panorama hídrico y la implementación de medidas efectivas. Además, la situación se ve agravada por la desigualdad ambiental y social, donde las comunidades más pobres se ven afectadas de manera desproporcionada por la falta de acceso al agua potable. La metodología consistió en un levantamiento bibliográfico, selección de materiales, diseño virtual utilizando el software Tinkercad, montaje y prueba del prototipo. También se propuso integrar el robot con la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar sus capacidades y permitir el monitoreo remoto. La investigación está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 14 de la ONU, contribuyendo a garantizar el acceso equitativo al agua potable y conservar los ecosistemas acuáticos. Los resultados obtenidos con el desarrollo del prototipo fueron prometedores, demostrando que la tecnología puede ser efectiva en la recolección de residuos flotantes en diferentes ambientes acuáticos. Además, la integración con IoT ha demostrado potencial para mejorar la eficiencia y escalabilidad de la solución, permitiendo un monitoreo continuo y una toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

Palabras clave: Robot Autónomo; Montón; Monitoreo de la Calidad del Agua.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência de todas as formas de vida no planeta. Sua disponibilidade global atende às principais demandas humanas, como as residenciais, domésticas, agrícolas e industriais. Contudo, nas últimas décadas, o crescimento populacional e a consequente expansão urbana, intensificação da industrialização e exploração descontrolada dos recursos naturais têm causado impactos significativos na qualidade da água (Vardhan et al., 2019). Esse cenário resultou no aumento do despejo de esgoto doméstico e industrial diretamente nos ecossistemas aquáticos urbanos (McGrane, 2016; Miller; Hutchins, 2017).

Estima-se que cerca de 80% das águas residuais geradas por atividades humanas sejam lançadas nos corpos hídricos sem tratamento adequado. Entre os poluentes mais preocupantes estão matéria orgânica, metais pesados, pesticidas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, nanopartículas, plásticos e patógenos (Villarín; Merel, 2020). A dificuldade em remover esses contaminantes está frequentemente associada à falta de recursos financeiros para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de remediação eficientes (Chowdhury et al., 2016).

O monitoramento dos parâmetros químicos e físicos da água é uma prática padrão para avaliar sua qualidade e medir os impactos das atividades humanas sobre os ambientes aquáticos. Por meio da análise desses parâmetros, é possível obter indicadores que auxiliam na compreensão da qualidade da água e do grau de impacto urbano sobre os ecossistemas hídricos (Rios-Villamizar et al., 2017).

Uma abordagem inovadora para realizar esse monitoramento é o uso de dispositivos inteligentes que coletam, registram e transmitem dados em tempo real. A tecnologia conhecida como Internet das Coisas (IoT) tem se destacado nesse contexto por otimizar pesquisas de campo, permitindo a obtenção de medições físicas e químicas sem a necessidade de deslocamento ao local ou ao laboratório (Daigavane et al., 2017).

Deste modo, a autora da pesquisa fez o seguinte levantamento: Como realizar o monitoramento da qualidade da água e a coletas de resíduos sólidos flutuantes, que prejudicam a vida aquática, contaminam os ecossistemas e impactam negativamente este bioma? Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de construir um robô autônomo acessível para monitorar a qualidade da água utilizando a tecnologia IoT em pontos do Rio Guamá em Belém do Pará e outros pontos da Praia do Mucuripe em Fortaleza, no Ceará.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um robô autônomo acessível para monitorar a qualidade da água utilizando a tecnologia IoT em pontos do Rio Guamá em Belém do Pará e outros pontos da Praia do Mucuripe em Fortaleza, no Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um robô autônomo capaz de navegar em rios, lagos e mares, evitando obstáculos e coletando resíduos flutuantes;
- Implementar um sistema de sensoriamento para medição de parâmetros de qualidade da água, incluindo pH, temperatura e turbidez;
- Criar uma plataforma de coleta e armazenamento de dados em tempo real, utilizando tecnologias de baixo custo e código aberto com Internet das coisas (IoT);
- Projetar um sistema de energia sustentável, utilizando painéis solares para alimentação do robô;
- Implementar um sistema de transmissão de dados em tempo real para uma estação base, permitindo o monitoramento contínuo das condições ambientais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. A água e a humanidade

A modernidade, especialmente a partir da Revolução Industrial, caracteriza-se por transformações profundas nos âmbitos social, político, econômico e cultural, todas fundamentadas na ideia de progresso. Embora uma parcela significativa da população mundial tenha alcançado melhorias na qualidade de vida e níveis de prosperidade sem precedentes, o avanço da sociedade industrial e de consumo gerou externalidades ambientais e sociais preocupantes.

Segundo Antonio Aledo (2009), as consequências negativas desse projeto moderno estão associadas à perversão do conceito de progresso em três dimensões: a redução da ideia de progresso a mero crescimento econômico, distorcendo seu significado original como avanço do paradigma da liberdade; a utilização da ciência como instrumento de controle e dominação da natureza e entre seres humanos; e o uso irracional e insustentável da tecnologia.

O modelo de desenvolvimento predominante na sociedade moderna, pautado por uma racionalidade econômica e utilitarista, revela-se insustentável ao consumir os

recursos naturais além da capacidade de suporte do planeta. Esse cenário configura uma crise que marca a transição entre um modelo civilizatório obsoleto, incapaz de atender às demandas globais, e um novo paradigma que ainda não se apresenta suficientemente consolidado.

Enrique Leff (2011) destaca que essa crise representa um ponto de inflexão na história, no qual "se desvanecem os suportes ideológicos e as certezas subjetivas que geraram os paradigmas de conhecimento e os dogmas do saber no ambivalente progresso da modernidade". Embora a questão ambiental seja o aspecto mais alarmante dessa crise, trata-se de uma problemática complexa, multidimensional e sistêmica, cujos efeitos abrangem todos os segmentos da vida — econômico, social, político, ambiental, cultural, jurídico, ético e moral — e afetam todas as regiões do planeta.

No entanto, as camadas mais vulneráveis da sociedade são as mais impactadas. Dentro desse contexto mais amplo, destaca-se a crise hídrica como um elemento central frequentemente negligenciado ou tratado como um fenômeno isolado. A água é o principal recurso natural do planeta e essencial para a vida de todas as espécies. Em 2010, a Assembleia Geral da ONU reconheceu o acesso à água potável e ao saneamento básico como um direito humano fundamental (Resolução A/RES/64/292).

Posteriormente, em 2015, com o lançamento da Agenda 2030, foi estabelecido o sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável: "Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos" (A/70/L.1). Apesar disso, a demanda por água continua crescendo em função do aumento populacional global. Estimativas indicam que a população mundial poderá alcançar 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050.

Além disso, projeta-se um aumento de 40% na demanda por água até 2030 e de 55% até 2050. Esse aumento está diretamente relacionado à expansão das atividades agrícolas — responsáveis por cerca de 69% do consumo global de água — ao crescimento das demandas energéticas e industriais e ao uso doméstico (UN-Water, 2021). Por outro lado, a água é um dos recursos naturais que mais tem demonstrado sinais de esgotamento devido ao modelo econômico atual e ao estilo de vida consumista predominante.

Além disso, sua distribuição territorial irregular adiciona um componente geopolítico significativo à crise hídrica. O mito da abundância da água não se sustenta diante dos problemas concretos relacionados à escassez, poluição e desigualdade no acesso aos recursos hídricos. De acordo com relatório da UN-Water (2015), estima-se que em 2025 cerca de 1,8 bilhões de pessoas viverão em regiões com escassez

absoluta de água e dois terços da população mundial estarão em situação de estresse hídrico.

José Irivaldo Oliveira Silva e José Rubens Morato Leite (2019) identificam quatro modalidades dessa crise hídrica: a crise de quantidade, associada ao crescimento populacional; a crise de qualidade, decorrente da contaminação das águas por atividades humanas como agricultura, pecuária e indústria; a crise de acesso, relacionada à falta de distribuição universal; e a crise de ocupação do solo nas cidades que crescem sem planejamento adequado para o uso sustentável dos recursos hídricos.

Esses autores também destacam preocupações quanto à concretização do direito humano à água num contexto em que esse recurso já se consolida como mercadoria. Tal processo implica 9 transformar a água de um bem comum acessível para todos em um bem econômico restrito às dinâmicas mercadológicas.

3.2 Caracterização de fontes poluidoras da água

De acordo com a CETESB (2018), a caracterização das fontes poluidoras é fundamental para o controle da poluição hídrica. A disponibilidade de água para consumo humano é limitada, especialmente em regiões densamente povoadas, o que torna essencial a preservação da qualidade dos corpos d'água e o uso racional desse recurso. A CETESB (2018) classifica as fontes de poluição em pontuais, como indústrias e estações de tratamento de esgoto, ou difusas, provenientes da drenagem de águas pluviais contaminadas por poluentes de origem urbana e rural.

No cenário atual de ocupação urbana, apenas o controle das fontes pontuais dificilmente será suficiente para recuperar plenamente a qualidade das águas, especialmente considerando os represamentos existentes para geração de energia elétrica no estado de São Paulo. Futuramente, poderá ser necessário prever o tratamento das águas de drenagem pluvial inicial. Para caracterizar as fontes poluidoras, a CETESB (2018) realiza uma avaliação quali quantitativa dos efluentes líquidos gerados por indústrias, ETEs, aterros sanitários e incineradores.

Isso permite avaliar o potencial impacto do lançamento no corpo receptor e verificar o atendimento à legislação ambiental. A confiabilidade dessa avaliação depende de uma amostragem representativa, com seleção criteriosa de parâmetros, pontos de coleta e técnicas adequadas. Os resultados obtidos possibilitam ainda analisar a eficiência de sistemas de tratamento, obter dados para projetos e avaliar possibilidades de reuso de efluentes industriais (CETESB, 2018).

No caso específico dos sistemas industriais, a CETESB (2018) indica que os efluentes são compostos por esgotos domésticos e efluentes do processo produtivo.

Para sua caracterização, são necessárias diversas informações como período de funcionamento, número de funcionários, fluxograma do processo, planta da fábrica, matérias-primas utilizadas, produção, uso da água, efluentes gerados, sistema de tratamento existente, condições operacionais e práticas de gestão ambiental.

3.3 Parâmetros de monitoramento da água no Brasil

A gestão eficaz dos recursos hídricos e a conservação da saúde ambiental dependem do monitoramento da qualidade da água. No contexto brasileiro, o Índice de Qualidade da Água (IQA) emerge como uma ferramenta fundamental para a avaliação das águas superficiais, tendo sido adaptado pela CETESB ((Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em 1975 a partir do modelo norte-americano (ANA, 2023).

O IQA integra nove parâmetros essenciais para a análise da qualidade hídrica, especialmente relevantes para o abastecimento público pós-tratamento. Nogueira et al. (2015, p. 45) enumeram esses parâmetros: "oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais dissolvidos". A legislação ambiental brasileira desempenha um papel crucial neste cenário.

Ramos et al. (2016) destacam a importância da Resolução CONAMA nº 357/2005 que estabelece a classificação dos corpos d'água e fornece diretrizes para seu enquadramento, sendo um instrumento fundamental na gestão dos recursos hídricos ao definir limites para diversos indicadores de qualidade. A aplicação prática do IQA tem se mostrado valiosa em diversos contextos.

Silva et al. (2017) demonstraram sua utilidade ao avaliar reservatórios em Sergipe, permitindo comparações entre diferentes corpos hídricos e períodos sazonais. Contudo, é importante reconhecer as limitações do IQA. Gasparotto (2011) observa que "o índice não abrange certos parâmetros específicos, como metais pesados ou compostos orgânicos tóxicos, podendo ser necessário complementá-lo com análises adicionais em determinadas situações". Uma abordagem inovadora no monitoramento da qualidade da água envolve a participação comunitária.

Estudos conduzidos pela Embrapa indicam que "esta 11 metodologia não apenas gera dados relevantes, mas também promove a conscientização e o engajamento da população local na gestão dos recursos hídricos" (EMBRAPA, 2022, p. 32). O monitoramento da qualidade da água é essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a proteção da saúde pública e ambiental.

No Brasil, o principal instrumento utilizado para avaliar a qualidade das águas superficiais é o Índice de Qualidade da Água (IQA), adaptado pela CETESB em 1975

(ANA, 2023). O IQA incorpora nove parâmetros considerados mais relevantes para a avaliação da qualidade das águas, especialmente para fins de abastecimento público após tratamento. Segundo Nogueira et al. (2015, p. 45), "esses parâmetros incluem oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais dissolvidos".

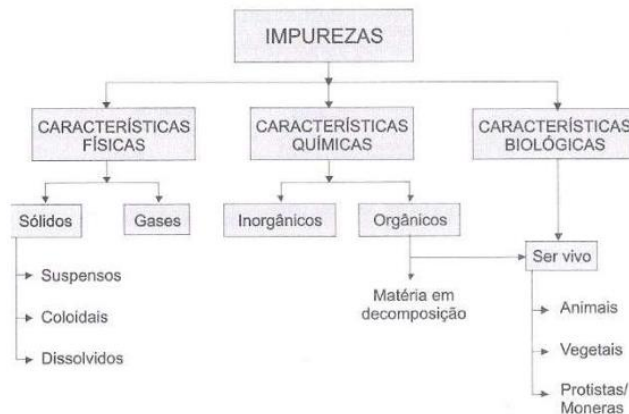
A Resolução CONAMA nº 357/2005 desempenha um papel crucial no estabelecimento de padrões de qualidade da água. Como destaca Ramos et al. (2016) que a resolução citada classifica os corpos d'água e fornece diretrizes para seu enquadramento, sendo fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos ao estabelecer limites para diversos parâmetros de qualidade.

O monitoramento regular desses parâmetros é essencial para identificar tendências e detectar problemas emergentes. Silva et al. (2017) demonstraram a utilidade do IQA ao aplicá-lo na avaliação de reservatórios no estado de Sergipe, permitindo comparações da qualidade da água em diferentes corpos hídricos e períodos sazonais. É importante ressaltar que, embora o IQA seja amplamente utilizado, ele possui limitações. Gasparotto (2011) observa que "o IQA não contempla parâmetros específicos como metais pesados ou compostos orgânicos tóxicos, podendo ser necessário complementá-lo com análises adicionais".

A participação comunitária no monitoramento da qualidade da água tem se mostrado uma abordagem valiosa. Estudos da Embrapa indicam que "esta abordagem não só fornece dados úteis, mas também promove a conscientização e o engajamento da população local na gestão dos recursos hídricos" (EMBRAPA, 2022, p. 32).

A composição da água inclui uma variedade de elementos e substâncias que podem ser categorizados em três grupos principais, de acordo com suas propriedades, conforme a figura 1, abaixo:

Figura 1. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias



Fonte: Von Sperling, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Volume 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3ªed. 2005.

As substâncias presentes na água, excluindo os gases dissolvidos, compõem a carga de sólidos e são objeto de análise específica (CETESB, 2018). Essa análise permite classificá-las de duas formas principais. De acordo com suas propriedades físicas, especialmente o tamanho das partículas e com base em sua composição química. Essa categorização é fundamental para compreender a natureza e o impacto dos diferentes contaminantes aquáticos, fornecendo informações importantes para o tratamento e gestão dos recursos hídricos (CETESB, 2018).

3.4 A 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

A COP 30, ou a 30ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, está programada para ocorrer em Belém, Pará, entre os dias 10 e 21 de novembro de 2025. Este evento representa um desafio significativo para a região amazônica, que enfrenta problemas ambientais e sociais críticos, como o desmatamento e as queimadas, que comprometem a sustentabilidade da agropecuária brasileira (HOMMA, 2024, p. 1-2).

A COP inaugural foi realizada na Alemanha em 1995, marcando o início das discussões globais sobre mudanças climáticas. A edição de 2020 foi interrompida pela pandemia de Covid-19, enquanto a de 2024 está prevista para ocorrer no Azerbaijão. Na região sul-americana, o evento já teve edições na Argentina em 1998 e 2004, além do Peru em 2014. A escolha de Belém para sediar a COP 30 em 2025 traz desafios logísticos significativos, mas também destaca o papel simbólico da Amazônia no cenário ambiental global (HOMMA, 2024).

Os principais temas a serem discutidos incluem a redução de emissões de gases de efeito estufa, adaptação às mudanças climáticas, financiamento climático para países em desenvolvimento, tecnologias de energia renovável, preservação de florestas e biodiversidade, e justiça climática (PORTAL GOV.BR, 2024.). A realização da COP 30 na Amazônia destaca a importância desse bioma no equilíbrio climático global e oferece um palco único para discutir questões indígenas e de povos ribeirinhos.

A Amazônia, conhecida por sua vasta biodiversidade e importância climática global, tem enfrentado sérios desafios ambientais. O desmatamento na região, que já atingiu cerca de 18% da floresta, é motivado por fatores econômicos, culturais e técnicos, incluindo a expansão agrícola e pecuária (HOMMA, 2024, p. 3). Desde o lançamento do satélite Landsat 1 em 1972, os dados sobre desmatamento têm sido monitorados, revelando uma subestimação inicial que foi corrigida ao longo dos anos (FEARNSIDE, 1982, apud HOMMA, 2024, p. 3).

A COP 30 ocorre em um cenário de crescente urgência climática, com eventos extremos se multiplicando e a necessidade de acelerar a transição energética para atingir metas de neutralidade de emissões. O Brasil, sob a liderança do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, busca se posicionar como uma liderança climática global, mas enfrenta críticas por defender a exploração de petróleo em áreas ecologicamente sensíveis.

Neste contexto, é importante abordar a COP 30 no contexto de vida de quem está na Amazônia além do bioma. Um exemplo disso é o Rio Guamá que banha a capital do Pará, em Belém, onde será a conferência. Este rio é frequentemente afetado pela poluição, incluindo resíduos industriais e agrícolas, que comprometem a qualidade da água e a biodiversidade local.

3.5 Rio Guamá

A poluição no Rio Guamá é resultado de várias práticas inadequadas, incluindo o descarte de lixo e esgotos sem tratamento diretamente nos corpos hídricos. Essas ações são potencializadoras de problemas socioambientais e interferem na qualidade dos corpos hídricos, afetando a saúde da população que depende desses recursos (HONORATO et al., 2020).

Além disso, a falta de infraestrutura sanitária adequada na região contribui para a contaminação da água, pois a urbanização desordenada não foi acompanhada por uma expansão igualitária dos serviços de saneamento básico (PÓVOAS et al., 2020). Estudos realizados na região do Ver-o-Peso mostram que a água do Rio Guamá está contaminada com coliformes totais e termotolerantes, indicadores de contaminação fecal e poluição. A presença dessas bactérias, especialmente a *Escherichia coli*, sugere a existência de microrganismos patogênicos, o que torna a água imprópria para consumo e recreação (DUARTE et al., 2023).

A análise das amostras coletadas no rio revelou que 100% delas apresentaram resultados positivos para coliformes totais e termotolerantes, com valores acima de 100 NMP/100 mL, o que é significativamente superior aos padrões aceitáveis para água potável (DUARTE et al., 2023).

Para mitigar os efeitos da poluição no Rio Guamá, é urgente implementar medidas que visem sanear a questão da destinação dos esgotos e promover a gestão sustentável dos recursos hídricos. Isso inclui investimentos em infraestrutura sanitária adequada e a implementação de políticas públicas que incentivem práticas sustentáveis e a preservação ambiental (DUARTE et al., 2023).

A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde destaca a importância do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, visando garantir a prevenção de doenças e assegurar a saúde da população (PORCY et al., 2020). 3.6. A Internet das Coisas - IoT O conceito de Internet das Coisas (IoT) começou a ganhar destaque na mídia em 2001, mas suas raízes remontam a 1991, quando Mark Weiser discutiu dispositivos cotidianos conectados em seu artigo "The Computer of 21st Century". Esses dispositivos coletam e transmitem informações para tornar a vida mais prática e produtiva (Santanella et al., 2013).

A evolução das técnicas de programação e das tecnologias de rede, que integram máquinas à internet, foi crucial para o desenvolvimento da IoT. Com o surgimento de pesquisas e produtos inteligentes que se conectam à rede, o termo ganhou visibilidade entre governos e empresas, que perceberam seu potencial para resolver problemas complexos da sociedade (Singer, 2012).

A IoT tem três principais formas de aplicação, segundo Lee (2015): monitoramento e controle com sensores e automação em tempo real, análise de Big Data para processamento de dados, e análise de negócios para facilitar decisões empresariais. O avanço em microprocessadores, materiais de sensoriamento e comunicação sem fio impulsionou o uso de sensores inteligentes em diversas áreas, como monitoramento de segurança e industrial (Loureiro et al., 2003).

Por outro lado, o Big Data surgiu para lidar com o crescimento contínuo do volume de dados, permitindo o processamento rápido de informações estruturadas e não estruturadas. O termo é frequentemente associado aos cinco V's: Volume, Variedade, Velocidade, Veracidade e Valor (Taurion, 2013).

O Big Data é capaz de analisar dados brutos e prever eventos futuros, graças ao avanço da computação móvel, redes sociais 16 e nuvem (Nesello et al., 2014). Sua origem inclui dados de web, redes sociais, transações e biometria (Galdino, 2016). A utilização do Big Data não se limita ao processamento de dados, mas também à complexidade e velocidade com que é realizado, agregando valor às informações em diferentes contextos (Luvizan et al., 2014).

As plataformas de Big Data são compostas por um conjunto de funções que permitem alta performance no processamento de dados, permitindo interação, administração e aplicação de técnicas avançadas para extrair informações de qualidade (Caldas et al., 2016). O tratamento dos dados é realizado por algoritmos inteligentes que seguem uma sequência de instruções até determinar decisões (Galdino, 2016).

No entanto, ferramentas tradicionais como SQL são limitadas para dados não estruturados, o que levou ao desenvolvimento de tecnologias NoSQL. Diversas

ferramentas são utilizadas no Big Data, como Hadoop Distributed File System (HDFS), que distribui blocos de arquivos para gerenciar dados rapidamente; YARN, que facilita a localização de dados; MAP REDUCE, que organiza e associa dados em vários servidores; Massively Parallel Processing (MPP), para análise massiva; e SPARK, que processa dados em memória com algoritmos paralelos (Galdino, 2016).

O Machine Learning é uma técnica que ensina máquinas a entender dados complexos, processá-los e extrair valor, sendo útil em redes sociais e análise de comportamento (Galdino, 2016). O Big Data tem amplas aplicações, como na saúde pública, onde pode criar sistemas complementares para vigilância epidemiológica e farmacovigilância, além de mapear riscos de doenças transmissíveis (Silva, 2016).

Com o crescimento da produção de dados, o Big Data se torna essencial para processar e analisar informações em tempo real, facilitando a tomada de decisões (Takaishi et al., 2014). Além disso, o Big Data Analytics melhora processos organizacionais e apoia decisões estratégicas, podendo prever tendências com base em análises de dados (Galdino, 2016). Algumas das aplicações do Big Data que também integram a Internet das Coisas (IoT) incluem a utilização em fábricas, onde sensores são empregados para controle e monitoramento.

Esses dados são processados pelo Big Data para prever problemas de manutenção, garantir a segurança e melhorar a qualidade dos produtos (Takaishi et al., 2014). No setor de saúde, a IoT é usada para monitorar condições de saúde dos pacientes, coletar dados biométricos e gerar relatórios e diagnósticos eficientes através da análise desses dados (Takaishi et al., 2014).

Com a disseminação de sensores em objetos cotidianos, torna-se essencial o uso de ferramentas de alto desempenho para processar a vasta quantidade de dados gerados, auxiliando na tomada de decisões e na previsão de eventos futuros. Além disso, IoT e Big Data têm potencial para serem aplicados na gestão de recursos hídricos, onde podem ser usados para monitorar em tempo real a disponibilidade e qualidade da água, além de prever demandas e riscos associados, além de que essas tecnologias podem transformar a gestão de recursos hídricos.

4 METODOLOGIA

Para a construção do robô se utilizou o método de engenharia onde foi trabalhada as seguintes etapas: O desenvolvimento do protótipo do robô para monitoramento da qualidade da água envolveu a integração de diversos componentes tecnológicos, visando criar um dispositivo autônomo e eficiente.

A seguir, é detalhada a funcionalidade de cada componente e como eles contribuem para o objetivo final. O sistema de energia sustentável foi implementado utilizando um painel solar de 12V e 125mA, medindo 90mm x 115mm, que carrega baterias de lítio conectadas em paralelo. Este arranjo garante uma fonte de energia renovável e confiável, permitindo que o robô opere por períodos prolongados sem a necessidade de recarga frequente.

Além disso, foram utilizados reguladores de tensão para otimizar o fornecimento de energia aos componentes eletrônicos, como sensores, módulo ESP32 e motores, assegurando um funcionamento estável e prevenindo danos causados por flutuações de tensão. Para a locomoção, o robô foi equipado com dois motores DC, sendo um responsável pela propulsão e outro pelo controle da direção. Esses motores são controlados por um módulo de controle de velocidade de 1.5A, compatível com Arduino, que permite ajustar a velocidade dos motores de acordo com as necessidades do ambiente aquático em que o robô está operando.

Isso é crucial para garantir que o robô possa se mover de forma eficiente e segura em diferentes condições. A unidade de processamento e comunicação foi centralizada no módulo ESP32, que integra uma câmera e capacidade Wi-Fi. Essa configuração permite o monitoramento remoto em tempo real, bem como a transmissão de dados coletados durante as operações do robô. O ESP32 atua como o cérebro do sistema, processando informações dos sensores e controlando os motores e outros componentes.

Para o monitoramento da qualidade da água, foram incorporados vários sensores especializados. O sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água é capaz de medir a temperatura em locais úmidos ou submersos, fornecendo dados precisos sobre as condições térmicas da água. Esse sensor utiliza a interface de comunicação 1-Wire, permitindo que vários sensores sejam conectados a uma única saída digital do Arduino, o que é útil para monitorar diferentes pontos de um reservatório ou rio.

O sensor ultrassônico HC-SR04 é utilizado para medir a profundidade da água ou detectar obstáculos no caminho do robô. Ele funciona emitindo ondas ultrassônicas e medindo o tempo que elas levam para retornar, permitindo calcular a distância até objetos ou a superfície da água. Embora não seja diretamente relacionado à qualidade da água, esse sensor é essencial para a navegação segura do robô.

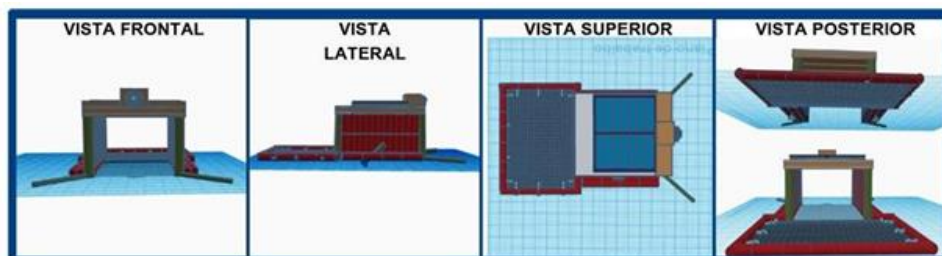
O módulo sensor de umidade do solo pode parecer fora de contexto em um ambiente aquático, mas pode ser adaptado para monitorar a umidade em margens ou áreas adjacentes, fornecendo informações adicionais sobre o ecossistema. No entanto, para o monitoramento da qualidade da água propriamente dito, outros sensores

específicos, como pH, condutividade ou turbidez, seriam mais adequados. Para a montagem e prototipagem do robô, foi utilizado um protoboard de 830 pontos para Arduino, que facilita a conexão e teste dos componentes sem a necessidade de soldagem. Os jumpers macho/macho e fêmea/fêmea são usados para conectar os componentes ao protoboard e ao Arduino, garantindo uma conexão segura e flexível.

A base do robô foi construída com canos PVC, o que oferece durabilidade e resistência à corrosão em ambientes aquáticos. Essa estrutura física suporta todos os componentes eletrônicos e mecânicos, garantindo que o robô possa operar de forma estável e eficiente. Para a modelagem do design foi utilizado o Tinkercad que foi possível fazer o planejamento inicial do sistema em um ambiente virtual. O Tinkercad, uma plataforma online para simulação eletrônica, permitiu que os sensores e dispositivos fossem integrados digitalmente antes da montagem física.

Durante essa fase, os sensores descritos na tabela (como sensores de nível ultrassônico, sensores de pH e turbidez) foram posicionados virtualmente, conectados a microcontroladores como Arduino e testados em um modelo simulado. Esse design possibilitou a identificação de possíveis falhas no projeto e ajustes necessários antes da implementação prática como mostra as imagens abaixo:

Figura 2. Croqui no Tinkercad.



Fonte: Acervo da autora

Na montagem do protótipo, os componentes projetados anteriormente foram fisicamente conectados para criar uma versão funcional do sistema. Sensores como os de qualidade da água, pressão e vazão foram instalados em um ambiente controlado que simulava as condições reais do ciclo da água. Essa montagem foi essencial para verificar se os dispositivos IoT coletavam os dados esperados com precisão. Além disso, ajustes foram feitos para corrigir problemas identificados durante os testes práticos.

4.1 Método científico

O presente estudo também é classificado como uma pesquisa exploratória, pois o tema abordado é relativamente inexplorado. Conforme Gil (2008, p.43), a falta de estudos sobre a aplicação de IoT e Big Data no monitoramento de recursos hídricos em bacias hidrográficas, rios, lagos e mares justifica essa abordagem. De acordo com Silveira e Córdova (2009), esse tipo de pesquisa permite uma maior familiaridade com o tema, tornando-o mais conhecido. Além disso, ela se alinha com estudos que visam examinar questões de pesquisa pouco estudadas ou inéditas, como destacado por Sampieri, Collado e Lucio (1991, p. 59).

Os dados do estudo, de natureza qualitativa, foram coletados através de uma pesquisa bibliográfica abrangendo os temas de bacias hidrográficas, recursos hídricos, gestão de recursos hídricos, processo decisório, IoT e Big Data. Essa abordagem é prescritiva, pois teve como objetivo analisar diferentes formas de integração e complementaridade entre os conceitos envolvidos.

No desenvolvimento do método, foram estabelecidos os conceitos de bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos; descritas e exemplificadas as informações necessárias para esse processo; apresentadas as formas pelas quais essas informações podem ser obtidas e analisadas por meio de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), com destaque para o uso de IoT e Big Data; e discutido como essas TIC podem apoiar o processo de tomada de decisão na gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas. Para que ocorra um monitoramento da qualidade da água e uma gestão sustentável dos recursos hídricos, é essencial coletar dados sobre a situação das bacias hidrográficas, incluindo disponibilidade e consumo de água, e processar esses dados em tempo real para gerar informações cruciais para a tomada de decisões eficazes.

A coleta de dados visa entender a quantidade e qualidade da água nos reservatórios e bacias hidrográficas, que serão tratadas para reutilização. As informações geradas são usadas para analisar tendências, detectar problemas na água armazenada, monitorar valores críticos fora do padrão e fornecer subsídios para decisões eficazes. A tecnologia IoT, composta por uma rede de sensores, é a melhor forma de obter simultaneamente valores e parâmetros importantes para a gestão dos recursos hídricos.

Esses sensores, distribuídos pela bacia hidrográfica, capturam dados em tempo real e os armazenam em um sistema de banco de dados, permitindo o monitoramento remoto das bacias e reservatórios. Além disso, é necessário um sistema de dados organizado e tecnologias de alto poder de processamento, como o Big Data, para

analisar a massa de dados obtida, transformá-la em informações úteis e fornecer uma visão atual da disponibilidade dos recursos hídricos, além de fazer projeções e previsões futuras. A tabela 1 mostra algumas das informações importantes sobre a quantidade e qualidade da água usadas na tomada de decisão, destacando como as TIC, incluindo IoT e Big Data, podem auxiliar nessa análise. Entre as informações importantes a serem monitoradas estão a vazão dos cursos de água, índice pluviométrico diário, controle de cheias, nível de água nos reservatórios, consumo nas cidades e indústrias, para garantir que a quantidade de água disponível seja considerada para distribuição e reutilização.

Tabela 1. Dados para o contexto do IOT.

Ciclo da água	Dados monitorados	Uso de IoT para coleta de dados
Formação através dos processos naturais do ciclo hidrológico	Fluxo dos rios e córregos Registro diário de precipitação Gestão de inundações	Sensor ultrassônico de nível e vazão: Mede o nível e a vazão de líquidos utilizando tecnologia ultrassônica. Pluviômetro digital: Realiza medições precisas de precipitação para monitoramento climático. Sensor magnético ou ultrassônico de nível: Utilizado para medir o nível em reservatórios com alta precisão.
Armazenamento e retenção	Volume de água nos reservatórios Temperatura da água Níveis de pressão hídrica Quantidade de sólidos e sedimentos	Sensor de temperatura da água: Detecta variações na temperatura da água armazenada em reservatórios. Sensor de pressão em reservatórios: Monitora a pressão interna do reservatório para controle operacional.
Coleta e purificação	Avaliação da qualidade da água Análise do pH da água Verificação da turbidez Detecção de gases e substâncias	Sensor de qualidade da água: Mede parâmetros como turbidez, pH e outros indicadores de qualidade. Sensor de pH: Analisa o potencial hidrogeniônico (pH) da água para determinar sua acidez. Sensor de turbidez: Avalia a transparência da água, indicando a presença de partículas suspensas. Sensor químico: Mede concentrações de substâncias químicas específicas presentes na água.
Distribuição e utilização	Uso de água em áreas urbanas Monitoramento de vazão para perdas	Sensor hidrométrico: Registra o consumo e fluxo da água em sistemas industriais ou residenciais. Sensor de vazão: Identifica o fluxo de água em tubulações ou sistemas hidráulicos. Sensor industrial: Projetado para aplicações robustas em ambientes

	Consumo hídrico em indústrias	industriais.
Tratamento e retorno para reaproveitamento	Quantificação de oxigênio dissolvido Verificação de padrões microbiológicos Observação da coloração da água	Sensor de oxigênio dissolvido Mede a concentração de oxigênio na água, importante para ecossistemas aquáticos. Sensor óptico (fibra óptica ou laser) Utilizado para análises avançadas, como detecção de partículas ou cores.

Fonte: Isabella Fernanda (2024).

Na etapa de formação através dos processos naturais do ciclo hidrológico, são monitorados o fluxo dos rios e córregos, o registro diário de precipitação e a gestão de inundações. Para isso, são empregados sensores ultrassônicos de nível e vazão, que medem o nível e a vazão de líquidos utilizando tecnologia ultrassônica. Esses sensores são essenciais para avaliar a quantidade de água que flui em rios e córregos. Além disso, o pluviômetro digital realiza medições precisas de precipitação, contribuindo para o monitoramento climático. Por fim, sensores magnéticos ou ultrassônicos de nível são utilizados para medir com alta precisão os níveis em reservatórios, ajudando na gestão eficiente das cheias.

Na fase de armazenamento e retenção, os dados monitorados incluem o volume de água nos reservatórios, a temperatura da água, os níveis de pressão hídrica e a quantidade de sólidos e sedimentos presentes. Para essas medições, sensores específicos são empregados: o sensor de temperatura da água detecta variações na temperatura da água armazenada em reservatórios, enquanto o sensor de pressão monitora a pressão interna dos reservatórios para garantir o controle operacional. Esses dispositivos são fundamentais para manter as condições adequadas do armazenamento e prevenir problemas estruturais ou operacionais.

Durante a etapa de coleta e purificação, são avaliados parâmetros como a qualidade da água, o pH, a turbidez e a detecção de gases e substâncias químicas. Sensores avançados desempenham um papel crucial aqui: o sensor de qualidade da água mede indicadores como turbidez e pH para determinar se ela está adequada ao consumo ou uso industrial; o sensor de pH analisa o potencial hidrogeniônico para verificar sua acidez; o sensor de turbidez avalia a transparência da água, indicando a presença de partículas suspensas; e o sensor químico mede concentrações específicas de substâncias químicas presentes na água. Esses dispositivos garantem que a purificação seja realizada com eficiência e segurança.

Na etapa de distribuição e utilização da água, são monitorados aspectos como o uso em áreas urbanas, o fluxo necessário para evitar perdas e o consumo hídrico em indústrias. Sensores hidrométricos registram o consumo e fluxo da água em sistemas industriais ou residenciais, permitindo uma gestão mais precisa dos recursos hídricos. Sensores de vazão identificam o fluxo em tubulações ou sistemas hidráulicos, enquanto sensores industriais robustos são projetados para operar em ambientes desafiadores das indústrias.

Por fim, na fase de tratamento e retorno para reaproveitamento, os dados coletados incluem a quantificação do oxigênio dissolvido na água, padrões microbiológicos presentes e observações sobre sua coloração. Sensores especializados são utilizados: sensores de oxigênio dissolvido medem concentrações desse gás na água, algo essencial para ecossistemas aquáticos saudáveis; sensores ópticos (como fibra óptica ou laser) realizam análises avançadas que incluem detecção de partículas microbiológicas ou alterações na cor da água. Esses dispositivos garantem que a água tratada esteja dentro dos padrões necessários para ser reutilizada. Ademais, a presente pesquisa pode se enquadrar como aplicada, pois, consiste em desenvolver um sistema de monitoramento para o robô de forma remota, contando com a abordagem qualitativa no monitoramento da qualidade da água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escassez e desatualização de dados sobre a qualidade da água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil revelam uma urgente necessidade de estudos aprofundados e melhor gestão dos recursos hídricos. Embora alguns parâmetros estejam dentro dos limites legais, isso não garante que a água seja segura para consumo, o que afeta desproporcionalmente as comunidades mais pobres, evidenciando uma grave desigualdade ambiental e social.

A qualidade da água torna-se, assim, um fator crítico de marginalização e risco à saúde pública, demandando ações imediatas para garantir acesso equitativo à água potável e melhorar as condições sanitárias dessas regiões. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras pode ser importante no monitoramento e gestão dos recursos hídricos.

O protótipo de robô criado, por exemplo, integra diversos componentes tecnológicos avançados, como um sistema de energia sustentável baseado em painéis solares, gerenciamento de energia eficiente e um sistema de locomoção robusto. Além disso, a incorporação de um módulo ESP32 com capacidade Wi-Fi permite o monitoramento remoto em tempo real e a transmissão de dados coletados, o que pode

ser fundamental para a coleta de dados precisos sobre a qualidade da água em áreas remotas ou de difícil acesso.

Figura 3. Visão geral dos componentes.



Fonte: Acervo da Autora.

A lacuna de informações sobre a qualidade da água nas regiões Norte e Nordeste ressalta a necessidade urgente de estudos mais aprofundados e sistemáticos nestas áreas. A combinação de tecnologias como o robô com esforços de pesquisa pode ajudar a preencher essa lacuna, fornecendo dados precisos e atualizados que possam orientar políticas públicas eficazes para melhorar a gestão dos recursos hídricos e garantir o acesso equitativo à água potável.

Portanto, é essencial que sejam implementadas ações imediatas para garantir que essas tecnologias sejam utilizadas de forma eficaz na melhoria das condições de vida das comunidades mais vulneráveis, mitigando as desigualdades ambientais e sociais que afetam essas regiões. Com o emprego de tecnologias de Big Data, as informações coletadas podem ser analisadas para prever eventos como índice de contaminação etc. proporcionando uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos.

O índice pluviométrico, obtido por meio de sensores pluviômetros digitais que registram diariamente o volume de chuvas, é uma das principais fontes de dados. Ao longo da bacia hidrográfica, essas informações são processadas em tempo real, permitindo não apenas avaliar a disponibilidade atual de água, mas também fazer previsões futuras com base em padrões históricos e tendências.

Na fase de retenção e armazenamento, a tomada de decisão é apoiada por uma série de dados onde os níveis de água de rios, lagos e mares são monitorados por transmissores de nível, enquanto sensores de temperatura capturam a temperatura da água. Além disso, sensores específicos medem a pressão da água, e sensores de nível ultrassônico, juntamente com eletrodos, determinam a quantidade de sólidos sedimentares e dissolvidos. Com essas informações sendo coletadas em tempo real, o

Big Data pode fazer projeções precisas sobre a disponibilidade futura de água, o que é essencial para planejar a gestão eficiente dos recursos hídricos e garantir a segurança e a sustentabilidade das bacias hidrográficas.

6 CONCLUSÃO

Com base no levantamento bibliográfico realizado sobre o tema proposto, é possível afirmar que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) desempenham um papel crucial na gestão dos recursos hídricos. Através da coleta e análise de dados, essas tecnologias podem fornecer informações valiosas e subsídios para apoiar o processo decisório em todas as etapas do ciclo de vida da água. O uso de redes de sensores IoT distribuídas em uma bacia hidrográfica permite a coleta de dados importantes ao longo de todo o ciclo da água. Com esses dados, aplicações de Big Data podem analisá-los em tempo real e fazer projeções sobre a disponibilidade hídrica de uma região específica. Isso melhora significativamente a gestão dos recursos hídricos, especialmente na avaliação da suficiência da água para atender à demanda. Com o apoio da IoT e do Big Data, as etapas do ciclo da água — como geração por ciclos hidrológicos naturais, retenção e armazenamento, captação e tratamento, distribuição e consumo, e tratamento e devolução para reuso — podem ser monitoradas com informações concretas e confiáveis em tempo real. Isso otimiza o processo, evita a falta de água para consumo em cidades, indústrias e agricultura, e garante a qualidade da água. Além disso, permite projetar situações futuras, receber sugestões de medidas a serem tomadas, ampliar o monitoramento das áreas da bacia e notar variações nos parâmetros padrão do sistema para corrigi-las.

No entanto, limitações tecnológicas ainda persistem, como a necessidade de internet de boa qualidade em locais distantes, o que pode ser resolvido com a tecnologia de comunicação 5G. Outro desafio é a segurança dos sensores IoT espalhados pela bacia hidrográfica, pois podem ser alvos de furtos que inviabilizem a coleta de dados em tempo real. Uma possível continuação deste estudo seria relacionar os principais indicadores úteis para a gestão de recursos hídricos e apresentar quais deles podem ser calculados com a utilização de TICs como IoT e Big Data. A pesquisa está alinhada aos ODS 6 e 14 da ONU, e destaca a escassez de dados sobre a qualidade da água no Norte e Nordeste do Brasil, que afeta pessoas, fauna e flora. Problemas como poluição marinha e pesca predatória também dificultam o cumprimento do ODS 14.

Deste modo, o projeto propõe ferramentas para monitoramento ambiental e avança na aplicação de tecnologias sustentáveis para conservar recursos hídricos e seus ecossistemas. Para aplicar essa pesquisa no contexto do Rio Guamá, seria

necessário adaptar o robô às condições específicas da região. O rio apresenta características como alta turbidez, presença de resíduos flutuantes variados e correntes fluviais que podem interferir na operação do protótipo. Assim, o robô poderia ser equipado com sensores mais robustos para monitorar parâmetros da qualidade da água, como pH, turbidez e presença de contaminantes biológicos.

Além disso, sua capacidade de coleta de resíduos deveria ser ampliada para lidar com a diversidade de materiais encontrados no rio. A implementação prática desse projeto pode ser fortalecida por meio de parcerias estratégicas com instituições locais, como universidades e laboratórios especializados em qualidade da água. Por exemplo, o Laboratório de Qualidade da Água da Amazônia (Labágua/UEPA) poderia colaborar na análise dos dados coletados pelo robô, integrando-os a estudos sobre saneamento e conservação ambiental na região. Além disso, o envolvimento de órgãos governamentais e empresas privadas seria essencial para garantir financiamento e suporte técnico ao projeto. Outro aspecto importante seria o engajamento das comunidades ribeirinhas em campanhas educativas sobre preservação ambiental. A conscientização dessas populações é fundamental para reduzir o descarte inadequado de resíduos no rio e promover uma cultura de sustentabilidade. Os dados coletados pelo robô poderiam ser compartilhados com a sociedade por meio de plataformas digitais, aumentando a transparência e incentivando ações colaborativas para a proteção do Rio Guamá.

7 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). Brasília: ANA, 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil: 2018. Brasília, DF: ANA, 2018.
- AKHTER, F. et al. An IoT-enabled portable water quality monitoring system with MWCNT/PDMS multifunctional sensor for agricultural applications. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 9, n. 16, p. 14307-14316, 2021.
- AMORIM, M. A.; HOMMA, A. K. O. Desenvolvimento rural na Amazônia: desafios e perspectivas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2022.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Indicadores de qualidade: índice de qualidade das águas (IQA). Brasília: ANA, 2005.
- BOLFE, E. L. et al. Agricultura na Amazônia: potencialidades e limitações. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2024.
- BÖLL, Heinrich. Atlas do plástico. Ed. brasileira, nov. 2020. Rio de Janeiro: Brasil, 2020. Acesso em: 6 fev. 2025.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYAMA, P. T. Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. 73-95, 1998.

- BRASIL. Manual prático de análise de água. Brasília: FUNASA, Ministério da Saúde, 2013.
- BRASIL. Valor Bruto da Produção Agropecuária 2023. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023.
- BUDIARTI, R. P. N. et al. Desenvolvimento de IoT para sistema automatizado de monitoramento da qualidade da água. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO, TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E ENGENHARIA ELÉTRICA, 2019, Jember. Anais [...]. Jember: [s.n.], 2019. p. 211-216.
- CAITANO, J. et al. Mudanças na geografia agrícola do Brasil. Brasília: IBGE, 2023.
- CALDAS, M. S.; SILVA, E. C. C. Fundamentos e aplicação do Big Data: como tratar informações em uma sociedade de yottabytes. 2016.
- CAMARGO, E. T. et al. Low-cost water quality sensors for IoT: A systematic review. *Sensors*, v. 23, n. 9, p. 4424, 2023.
- CARSON, R. O mar que nos cerca. Tradução de Brenno Silveira. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1956.
- CAVICCHIOLI, M. A. B.; PEREIRA, M. V.; SILVA, J. F. Análise ambiental do fragmento florestal urbano na bacia hidrográfica do Igarapé da Vovó. In: REBELLO, A. (Org.). Contribuições teórico-metodológicas da geografia física. Manaus: EdUA, 2010. v. 1, p. 221-271.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Norma Técnica L5.169 – Determinação de oxigênio dissolvido em águas – método de Winkler modificado pela azida sódica: método de ensaio. São Paulo: CETESB, 1978. 8 p.
- CHAFFIN, B. C.; GARMESTANI, A. S.; GUNDERSON, L. H.; BENSON, M. H.; ANGELER, D. G.; ARNOLD, C. A.; ALLEN, C. R. Transformative environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 41, p. 399-423, 2016.
- CHOWDHURY, S. et al. Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the Total Environment*, v. 569, p. 476-488, 2016.
- CHOWDHURY, S.; MAZUMDER, M. A. J.; AL-ATTAS, O.; HUSAIN, T. Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of The Total Environment*, v. 569-570, p. 476-488, 1 nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). Situação dos Mananciais: Índice de armazenamento e pluviometria das represas que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSabesp.aspx>
- CORREIA, A. et al. Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. In: ENCONTRO REGIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 8., 2008, Natal. Anais [...]. Natal: [s.n.], 2008.
- DAIGAVANE, V. V.; GAIKWAD, M. A. IoT Based System for Water Quality Monitoring. *International Journal of Applied Engineering Research*, v. 14, n. 6, p. 1405-1409, 2017. Disponível em: <http://www.ripublication.com>
- DAIGAVANE, V. V.; GAIKWAD, M. A. Water quality monitoring system based on IoT. *Advances in Wireless and Mobile Communications*, v. 10, n. 5, p. 1107-1116, 2017.
- DANTAS, L. G. Sistema supervisor para alimentador automático para cachorros e gatos em situação de rua na UFERSA. 2022. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2022.
- DAVENPORT, T. H.; BARTH, P.; BEAN, R. How Big Data Is Different. *MIT Sloan Management Review*, v. 54, n. 1, 2012.

- DEMETILLO, A. T.; JAPITANA, M. V.; TABOADA, E. B. A system for monitoring water quality in a large aquatic area using wireless sensor network technology. *Sustainable Environment Research*, v. 29, p. 1-9, 2019.
- DUARTE, A. de S.; MENEZES, T. B.; GALÚCIO, V. C. A. Pesquisa de coliformes totais e termotolerantes no Rio Guamá no entorno do Ver-o-Peso no município de Belém-PA. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE*, v. 9, n. 5, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v9i5.10086>
- EMBRAPA. Monitoramento participativo da qualidade da água: engajando comunidades na gestão hídrica. Brasília: Embrapa, 2022.
- FEARNside, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: uma revisão dos dados disponíveis. *Acta Amazônica*, v. 12, n. 3, p. 555-574, 1982.
- FERNANDES, V. M. C. Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 2006. Anais [...], 2006.
- FREITAS, A. C. et al. Agricultura familiar na Amazônia: características e desafios. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2023.
- G1. Secretário-geral da ONU cita 'descrença' sobre a ação climática e reafirma apoio à COP 30. 22 jan. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2025/01/22/secretariogeral-da-onu-cita-descrenca-sobre-a-acao-climatica-e-reafirma-apoio-a-cop-30-nacoesunidas-totalmente-empenhadas.ghtml>
- GALDINO, N. Big Data: ferramentas e aplicabilidade. Congresso de Engenharia, 2016.
- GANGULY, D.; PATRA, S.; MUDULI, P. R.; VARDHAN, K. V.; R., A. K.; ROBIN, R. S.; SUBRAMANIAN, B. R. Influence of nutrient input on the trophic state of a tropical brackish water lagoon. *Journal of Earth System Science*, v. 124, p. 1005-1017, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-015-0582-9>
- GASPAROTTO, F. A. Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- GHOSH, A. What are the advantages of EPP32 over Arduino UNO? Techa Peek, 2019.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.
- HOMMA, A. Amazônia pré-COP 30: quais os caminhos? *Revista de Política Agrícola*, v. 33, e01988, 2024. DOI: <https://doi.org/10.35977/2317-224X.rpa2024.v33.01988>
- HOMMA, A. K. O. Agricultura na Amazônia: sustentabilidade e produtividade. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2017.
- HOMMA, A. K. O. et al. Desafios e oportunidades para a agropecuária na Amazônia. *Revista de Política Agrícola*, v. 29, e01988, 2020.
- HONG, W. J. et al. Water quality monitoring with arduino based sensors. *Environments*, v. 8, n. 1, p. 6, 2021.
- IBGE. Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024e.
- IBGE. Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2024a.
- IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024c.
- IBGE. Pesquisa da Pecuária Municipal 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024d.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024b.
- IGHALO, J. O.; ADENIYI, A. G.; MARQUES, G. Internet of things for water quality monitoring and assessment: a comprehensive review. In: HASSANIEN, A. E.; BHATNAGAR, R.; DARWISH, A.

(Eds.). Artificial intelligence for sustainable development: theory, practice and future applications. Singapore: Springer, 2021. p. 245-259.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento 2018. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2018.

IWANICKI, L.; ZAMBONI, A. Um oceano livre de plástico: desafios para reduzir a poluição marinha no Brasil. 1. ed. Brasília, DF: Oceana Brasil, 2020.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P.; MARQUES, A. S. Sistemas de informação gerencial. Pearson Educación, 2004.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. Business Horizons, v. 58, n. 4, p. 431-440, 2015.

LOPES, M. et al. Sistema de suporte a decisões aplicado ao monitoramento de recursos hídricos: estudo de caso Bacias. GeAS, v. 10, n. 1, 2021.

LOUREIRO, A. A.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A. D. F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. Redes de sensores sem fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES (SBRC), 2003. Anais [...], p. 179-226.

LUVIZAN, S.; MEIRELLES, F.; DINIZ, E. H. Big Data: publication evolution and research opportunities. Anais da 11ª Conferência Internacional sobre Sistemas de Informação e Gestão de Tecnologia, São Paulo, SP, 2014.

MADEO, D. et al. A low-cost unmanned surface vehicle for pervasive water quality monitoring. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, v. 69, n. 4, p. 1433-1444, 2020.

MAGALHÃES, R. C.; BARP, A. R. B. Inovações metodológicas para construção de cenários estratégicos em bacias hidrográficas. RAI Revista de Administração e Inovação, v. 11, n. 3, p. 200-226, 2014.

MCGRANE, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: A review. Hydrological Sciences Journal, v. 61, n. 13, p. 2295-2311, 2016.

MEYER, A. M. et al. Real-time monitoring of water quality to identify pollution pathways in small and middle scale rivers. Science of the Total Environment, v. 651, p. 2323-2333, 2019.

MILLER, J. D.; HUTCHINS, M. The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 12, p. 345-362, ago. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581817300539>

MILLER, J. D.; HUTCHINS, M. The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 12, p. 345-362, 2017.

MILLER, M. et al. IoT in water quality monitoring: Are we really here? Sensors, v. 23, n. 2, p. 960, 2023.

MISSION BLUE. Direção: Robert Nixon; Fisher Stevens. Produção: Robert Nixon; Fisher Stevens; Peter R. Livingston Jr. Roteiro: Mark Monroe; Jack Youngelson. Mission Blue. Estados Unidos: Netflix, 2014. 1 vídeo (94 min). Disponível em: <https://www.netflix.com>

NEVES, R. A. et al. Desenvolvimento regional na Amazônia: uma visão crítica. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2023.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis. 2015. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis

– Goiás. 2015. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. Administração de sistemas de informação. McGraw Hill Brasil, 2013.

PETKOVSKI, A.; AJDARI, J.; ZENUNI, X. IoT-based solutions in aquaculture: A systematic literature review. In: INTERNATIONAL CONVENTION ON INFORMATION, COMMUNICATION AND ELECTRONIC TECHNOLOGY, 44., 2021, Opatija. Proceedings [...]. Opatija: [s.n.], 2021. p. 1358-1363.

PIB... Contribuição do Agronegócio ao PIB Brasileiro 2023. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2024.

PINTO, M. C. F. Manual medição in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

PORTAL GOV.BR. COP 30 no Brasil — Planalto. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/agenda/internacional/missoesinternacionais/cop28/cop-30-no-brasil>

PORTO, M. F.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, 2008.

PRAZERES, L. Presidente da COP 30 diz não ver contradição entre petróleo na Foz do Amazonas e agenda ambiental de Lula. BBC News Brasil, 11 fev. 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-64444415>. Acesso em: 11 fev. 2025.

RAINER JR, R. K.; CEGIELSKI, C. G. Introdução a Sistemas de Informação. Rio de Janeiro: Campus, 2012.

RAMOS, J. L. S. Sistema IoT de monitoramento do nível da água de rios para cidades inteligentes. 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

RAMOS, M. A. G. et al. Avaliação da qualidade da água dos mananciais superficiais da bacia hidrográfica do rio Parauapebas (PA) utilizando o índice de qualidade da água (IQA-CETESB). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 4, p. 782-790, 2016.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review. WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 178, p. 17-28, 2014. DOI: 10.2495/WS130021.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Surface water quality and deforestation of the Purus river basin, Brazilian Amazon. International Aquatic Research, v. 9, p. 81-88, 2017. DOI: 10.1007/s40071-016-0150-1.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Surface water quality and deforestation of the Purus river basin, Brazilian Amazon. International Aquatic Research, v. 9, p. 81-88, 2017.

SANTAELLA, L.; GALA, A.; POLICARPO, C.; GAZONI, R. Desvelando a Internet das Coisas. Revista GEMInIS, v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013.

SARAIVA, J. M. et al. Recuperação de pastagens na Amazônia: uma abordagem integrada. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2020.

SCHMITZ, A. P.; BITTENCOURT, M. V. L. Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 47, n. 2, p. 329-363, 2017.

SCHNOOR, J. L. LCA and Environmental Intelligence? Environmental Science & Technology, 2009.

SILVA, A. P. S. et al. Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. Revista Árvore, v. 41, n. 1, e410117, 2017.

SILVA, F. A. B. Big data e nuvens computacionais: aplicações em saúde pública e genômica. Journal of Health Informatics, v. 8, n. 2, 2016.

- SILVA, L. D. Monitoramento de qualidade de água através de sensores robóticos arduino. 2022. 137 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2022.
- SILVA, M. L. R.; FALSARELLA, O. M.; MARIOSIA, D. F. O processo de decisão na gestão de recursos hídricos: a contribuição da Internet das Coisas (IoT) e Big Data. *RISUS – Journal on Innovation and Sustainability*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 45-58, abr./jun. 2022. ISSN 2179-3565.
- SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 33-44, 2009.
- SINGER, T. Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas. *Simpósio em Tecnologias Digitais e Sociabilidade*, v. 2, p. 1-15, 2012.
- SOUZA FILHO, E. A. Diagnóstico da qualidade das águas do igarapé do Mindu e criação de protótipo de aplicativo para disponibilização de dados em Manaus – AM. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.
- SOUZA FILHO, F. D. A. D. Recursos hídricos e agenda de tecnologias e inovação no Nordeste. *Parcerias Estratégicas*, v. 20, n. 41, p. 149-174, 2016.
- SOUZA, M. M. Caracterização e evolução temporal da qualidade das águas do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. 2018. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2018.
- TAKAISHI, D.; NISHIYAMA, H.; KATO, N.; MIURA, R. Toward energy efficient Big data gathering in densely distributed sensor networks. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, v. 2, n. 3, p. 388-397, 2014.
- TAURION, C. Big data. Rio de Janeiro: Brasport, 2013.
- TERRABRASILIS. Desmatamento na Amazônia Legal. Disponível em: <https://www.terrabilis.org.br/desmatamento-na-amazonia-legal>. Acesso em: 6 mar. 2025.
- TROJAN, F. Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18960>
- VARDHAN, K. H.; KUMAR, P. S.; PANDA, R. C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, v. 290, p. 111197, 2019.
- VILLARÍN, M. C.; MEREL, S. Paradigm shifts and current challenges in wastewater management. *Journal of Hazardous Materials*, v. 390, p. 122139, maio 2020. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122139.
- WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; XU, L. D. The Internet of Things – A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, v. 17, p. 261-274, 2014.
- WWF BRASIL. COP 30. Disponível em: https://www.wwf.org.br/cop_30/