



Anais do **Simpósio Acadêmico de Engenharia
de Produção (SAEPRO)** da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

IOT PARA MONITORAMENTO CONTÍNUO DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Renan Gomes Eller

Departamento de engenharia de produção, UNESP - Universidade Estadual Paulista,
Guaratinguetá, SP, Brasil, renan.eller@unesp.br

Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas

Departamento de engenharia de produção, UNESP - Universidade Estadual Paulista,
Guaratinguetá, SP, Brasil, marcela.freitas@unesp.br

Felipe Schoemer Jardim

Departamento de Ciências Atuariais e Finanças, Universidade Federal Fluminense,
Niterói, RJ, Brasil, felipejardim@id.uff.br

Resumo

O monitoramento da qualidade da água é essencial para a preservação dos recursos hídricos e a promoção da saúde pública. No Brasil, os métodos tradicionais de coleta e análise laboratorial apresentam limitações, como alto custo e baixa frequência de amostragem, dificultando a detecção precoce de alterações e a resposta a eventos críticos. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de sistema de monitoramento em tempo real baseado em Internet of Things (IoT), utilizando o microcontrolador ESP32, sensores de baixo custo e comunicação via Global System for



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Mobile Communications (GSM). O sistema foi projetado para monitorar cinco parâmetros físico-químicos — pH, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura — indicadores que fazem parte do Índice de Qualidade das Águas (IQA), principal ferramenta usada no Brasil para avaliar a qualidade dos corpos hídricos. O protótipo foi integrado a um dashboard online e a um aplicativo móvel, permitindo visualização em tempo real e armazenamento histórico dos dados. Testes iniciais em ambiente controlado demonstraram funcionamento estável e viabilidade do uso de sensores de baixo custo para medições de forma contínua. Os resultados preliminares indicam que a solução proposta pode ampliar o acesso a tecnologias de monitoramento hídrico, oferecendo uma alternativa com custo inferior comparativamente com as que existem no mercado atualmente, contribuindo para disseminação de políticas públicas de preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Monitoramento em tempo real; Internet of Things (IoT); Qualidade da água; sensores de baixo custo; Gestão de recursos hídricos.

Abstract

Water quality monitoring is essential for preserving water resources and promoting public health. In Brazil, traditional methods of sampling and laboratory analysis present limitations such as high cost and low sampling frequency, hindering early detection of changes and timely responses to critical events. In this context, this study aims to develop a real-time monitoring system prototype based on Internet of Things (IoT) technologies, using the ESP32 microcontroller, low-cost sensors, and communication via the Global System for Mobile Communications (GSM). The system was designed to monitor five physicochemical parameters — pH, turbidity, dissolved oxygen, electrical conductivity, and temperature — indicators that compose the Water Quality Index (WQI), the main tool used in Brazil to assess water body quality. The prototype was integrated into an online dashboard and a mobile application, enabling real-time data visualization and historical data storage. Initial tests in a controlled environment demonstrated stable performance and the feasibility of using low-cost sensors for continuous measurements.



Preliminary results indicate that the proposed solution can expand access to water monitoring technologies, offering a lower-cost alternative compared to existing systems and contributing to the dissemination of public policies for water resource preservation.

Keywords: Real-time monitoring; Internet of Things (IoT); Water quality; Low-cost sensors; Water resources management.

Resumen

El monitoreo de la calidad del agua es esencial para la preservación de los recursos hídricos y la promoción de la salud pública. En Brasil, los métodos tradicionales de muestreo y análisis de laboratorio presentan limitaciones, como el alto costo y la baja frecuencia de muestreo, lo que dificulta la detección temprana de cambios y la respuesta oportuna a eventos críticos. En este contexto, este estudio tiene como objetivo desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real basado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), utilizando el microcontrolador ESP32, sensores de bajo costo y comunicación mediante el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). El sistema fue diseñado para monitorear cinco parámetros físicoquímicos —pH, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura—, indicadores que forman parte del Índice de Calidad del Agua (ICA), la principal herramienta utilizada en Brasil para evaluar la calidad de los cuerpos de agua. El prototipo fue integrado a un panel en línea y a una aplicación móvil, permitiendo la visualización de datos en tiempo real y el almacenamiento histórico. Las pruebas iniciales en un entorno controlado demostraron un funcionamiento estable y la viabilidad del uso de sensores de bajo costo para mediciones continuas. Los resultados preliminares indican que la solución propuesta puede ampliar el acceso a tecnologías de monitoreo hídrico, ofreciendo una alternativa de menor costo en comparación con las existentes y contribuyendo a la difusión de políticas públicas de preservación de los recursos hídricos.

Palabras clave: Monitoreo en tiempo real; Internet de las Cosas (IoT); Calidad del agua; Sensores de bajo costo; Gestión de los recursos hídricos.



1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são elementos essenciais para a manutenção da vida e para o desenvolvimento socioeconômico, sendo utilizados em atividades como o abastecimento público, irrigação agrícola, processos industriais e geração de energia elétrica (ANA, 2022). O Brasil apresenta uma posição privilegiada em termos de disponibilidade de água doce, concentrando cerca de 12% do total mundial desses recursos (CETESB, 2024). Apesar dessa abundância, a distribuição espacial dos corpos hídricos é desigual, com grande parte concentrada na região amazônica, onde a densidade populacional é baixa, enquanto áreas com maior demanda, como o Sudeste e o Nordeste, apresentam menor disponibilidade (ANA, 2022).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), a qualidade da água deve ser monitorada e enquadrada em classes, considerando seus usos preponderantes, como consumo humano, recreação, irrigação e preservação da vida aquática. No entanto, grande parte desse potencial hídrico permanece subutilizada ou mal gerida, o que compromete a sustentabilidade e a segurança hídrica do país. Além disso, a demanda por água tem crescido gradativamente ao longo dos anos, impulsionada pelo aumento populacional, pela intensificação da agricultura irrigada e pela expansão das atividades industriais (ANA, 2021).

Apesar da elevada disponibilidade de água superficial, muitos mananciais têm a sua qualidade comprometida em decorrência dos usos urbanos intensivos (ANA, 2022). De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), aproximadamente 85% da população urbana brasileira depende diretamente de mananciais superficiais para o abastecimento público. Nesse contexto, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997), estabelece diretrizes voltadas à gestão sustentável das águas, priorizando, entre outros aspectos, a prevenção e a mitigação da poluição hídrica por meio de ações permanentes.



O monitoramento sistemático da qualidade e da quantidade da água assume papel estratégico para o cumprimento desses objetivos, uma vez que possibilita a detecção precoce de alterações nos corpos hídricos, a identificação das fontes de contaminação e a proposição de medidas corretivas. Esse processo é essencial para a garantia da segurança hídrica, assegurando o atendimento aos usos múltiplos da água em conformidade com os padrões e regulamentos ambientais vigentes, como os também estabelecidos pelo CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes para o enquadramento, bem como para o controle da poluição hídrica. Assim sendo, também contribui diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). Ações de monitoramento eficazes favorecem o ODS 6 (Água potável e saneamento), ao garantir o acesso à água segura e limpa, além de apoiar o ODS 3 (Saúde e bem-estar), ao reduzir os riscos de doenças de veiculação hídrica (UNESCO, 2023). Essas iniciativas também estão relacionadas ao ODS 14 (Vida na água), por proteger ecossistemas aquáticos e ao ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), ao fornecer dados essenciais para a adaptação e mitigação dos impactos ambientais.

O recente aumento na demanda por sistemas de monitoramento em tempo real de indicadores ambientais tem sido acompanhado pela crescente disponibilização de novas tecnologias voltadas ao desenvolvimento de sistemas automatizados. Nesse contexto, plataformas de prototipagem como Arduino, Raspberry Pi e dispositivos similares têm desempenhado papel fundamental ao viabilizar o desenvolvimento de soluções de monitoramento de baixo custo e baixa complexidade. Essas tecnologias permitem a integração de sensores e módulos de comunicação de maneira acessível, flexível e modular, possibilitando a coleta, processamento e transmissão de dados em tempo real relacionados a diversos parâmetros, tais como qualidade da água, qualidade do ar, probabilidade de ocorrerem descargas elétricas atmosféricas e outras variáveis ambientais (Banzi, 2015).

Além da redução significativa dos custos em comparação aos sistemas convencionais, essas plataformas favorecem a personalização e escalabilidade dos projetos, fomentando a inovação em pesquisas acadêmicas e tornando-se ferramentas estratégicas para a

democratização do monitoramento ambiental, contribuindo também para a formulação de soluções sustentáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

Dentro do controle da qualidade da água, o Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar a qualidade da água bruta, especialmente voltada ao abastecimento público. Criado em 1970 nos Estados Unidos pela National Sanitation Foundation e adotado no Brasil pela CETESB em 1975, o IQA é atualmente o principal índice de qualidade da água utilizado no país (ANA, 2025). Sua importância reside na capacidade de sintetizar múltiplos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em um único valor numérico, facilitando a interpretação e a comunicação sobre a qualidade da água. O IQA varia de 0 a 100, sendo que valores mais baixos indicam maior degradação da qualidade da água, permitindo uma avaliação rápida e eficaz, essencial para a tomada de decisões em tempo hábil, especialmente em contextos de gestão ambiental e saúde pública.

O cálculo do IQA é baseado em nove parâmetros, cada um com um peso específico que reflete sua importância relativa: Oxigênio Dissolvido (OD); coliformes termotolerantes; pH; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Temperatura da água; Nitrogênio total; Fósforo total; Turbidez; e Resíduo total (ANA, 2025). Cada parâmetro desempenha papel crucial na avaliação da qualidade da água:

- Oxigênio Dissolvido indica a capacidade da água de sustentar organismos aquáticos;
- Coliformes termotolerantes são indicadores de contaminação fecal;
- O pH reflete a acidez ou alcalinidade da água, afetando a solubilidade de substâncias químicas;
- A demanda bioquímica mede a quantidade de matéria orgânica biodegradável;
- A temperatura influencia a solubilidade de gases e a taxa de reações químicas;
- O nitrogênio e fósforo totais são nutrientes que podem causar eutrofização;



- Turbidez indica partículas em suspensão;
- Resíduo total mostra a quantidade de sólidos dissolvidos, afetando a potabilidade e o sabor.

Cada parâmetro é avaliado por meio de gráficos específicos que correlacionam suas concentrações com valores de qualidade, ponderados pelos pesos correspondentes para calcular o IQA final.

Considerando o contexto de monitoramento em tempo real e de baixo custo, optou-se, por selecionar primeiramente os dois parâmetros físico-químicos com maior peso para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), conforme estabelecido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Dessa forma, foram priorizados o oxigênio dissolvido (OD) e o pH, uma vez que apresentam grande relevância na avaliação da qualidade da água e possuem sensores mais acessíveis e viáveis para integração em sistemas automatizados. Outros três sensores foram adicionados para ajudar a validar o modelo: turbidez, temperatura, condutividade elétrica, pois também fazem parte das variáveis para o cálculo do IQA. Além disso, implementar um número reduzido de parâmetros permite o desenvolvimento de sistemas mais simples e econômicos, facilitando instalação, manutenção e interpretação dos dados, uma vez que o objetivo é validar o sistema como um todo. Essa abordagem também oferece potencial para expansão, permitindo incluir gradualmente outros parâmetros conforme a necessidade e disponibilidade de recursos, adotando uma estratégia escalável e adaptativa.

Dessa maneira, o presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de baixo custo capaz de monitorar em tempo real indicadores da qualidade de águas superficiais, integrado a uma plataforma de transmissão e armazenamento de dados. O sistema permitirá a visualização contínua das informações por meio de tecnologias IoT, disponibilizando os dados em um dashboard online e em um aplicativo para dispositivos móveis, viabilizando o acompanhamento remoto e a análise de indicadores ambientais de forma prática e acessível.



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ARDUINO E PLACAS DE PROTOTIPAGEM ACADÊMICAS

A mais conhecida entre as disponíveis no mercado, o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, amplamente utilizada em projetos educacionais, de pesquisa e desenvolvimento. Criado em 2005 no Interaction Design Institute Ivrea, na Itália, o Arduino facilita a criação de projetos interativos por meio de hardware e software acessíveis. Placas como o Arduino Uno, baseadas em microcontroladores da família ATmega, permitem a leitura de sensores e o controle de atuadores através de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) simples de usar (Kondaveeti; Mathe, 2021).

Placas com arquitetura semelhantes às do Arduino são aplicadas em diversos campos, como educação, prototipagem e arte interativa (Ibraheem; Ahmad, 2024). No entanto, existem limitações, como baixa capacidade de processamento, memória restrita e questões de segurança.

Uma revisão sistemática da literatura realizada em 2021 (Kondaveeti, 2021) analisou mais de 130 estudos publicados entre 2005 e 2020, identificando que o Arduino é amplamente utilizado em áreas como automação, Internet das Coisas (IoT), educação e prototipagem rápida. Os autores destacam que a plataforma é valorizada por sua acessibilidade, custo reduzido e grande comunidade de usuários, o que facilita o aprendizado e a experimentação. Neste projeto, a placa de prototipagem utilizada é a ESP32800L compatível com o ecossistema da família Arduino.

2.2 SENSORES DE BAIXO CUSTO

O termo “sensor de baixo custo” não está necessariamente associado a uma faixa específica de preço, pois o valor poderá variar em relação ao parâmetro que ele foi projetado para medir (Nalakurthi, 2024). Em geral, esse tipo de sensor é caracterizado por ter produção, aquisição e manutenção mais econômicas quando comparado a outros sensores que apresentam funcionalidades semelhantes. Esses sensores têm se tornado



elementos centrais em projetos de prototipagem eletrônica, especialmente quando integrados a plataformas como Arduino, ESP32 e Raspberry Pi. Sendo utilizados para a medição de parâmetros físicos, químicos e ambientais com eficiência satisfatória para fins educacionais, experimentais e de pesquisa aplicada, viabilizando a construção de sistemas de monitoramento em tempo real com baixo investimento financeiro (Karagulian, 2019).

2.3 TECNOLOGIAS IOT PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à rede de dispositivos físicos conectados à internet, capazes de coletar, processar e compartilhar dados sem intervenção humana direta. Esses dispositivos, que podem incluir sensores, atuadores, microcontroladores e equipamentos inteligentes, transformam informações do ambiente em dados digitais que podem ser analisados em tempo real para tomada de decisão (Atzori; Iera; Morabito, 2010). Plataformas de prototipagem eletrônica, como Arduino, ESP32 e Raspberry Pi, têm sido amplamente utilizadas para implementar soluções de IoT, essas plataformas permitem integração com sensores de baixo custo para medir variáveis como temperatura, umidade, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, qualidade do ar e níveis de poluentes. Os dados coletados são transmitidos via protocolos de comunicação sem fio, como Wi-Fi, Bluetooth e GSM/3G/4G, para dashboards online e aplicativos móveis, possibilitando monitoramento remoto e análise em tempo real

2.4 QUALIDADE DA ÁGUA E O IQA

A qualidade das águas dos rios é fundamental para a saúde ambiental, pública e econômica. Rios saudáveis sustentam ecossistemas aquáticos, fornecem água potável, irrigação, energia hidrelétrica e lazer. Contudo, a poluição por esgoto doméstico, resíduos industriais e produtos químicos compromete esses serviços essenciais. Estudos demonstram que o vínculo entre a degradação dos recursos hídricos ao aumento de doenças transmitidas por água contaminada. Por exemplo, 80% das doenças e 50% das

mortes infantis no mundo estão relacionadas à má qualidade da água (Atzori; Iera; Morabito, 2010). Além disso, rios poluídos afetam a biodiversidade aquática e a qualidade dos recursos hídricos disponíveis para consumo e uso agrícola (UNESCO, 2021).

O monitoramento constante da qualidade da água é essencial para identificar fontes de poluição, avaliar impactos ambientais e orientar políticas públicas eficazes. A implementação de tecnologias de monitoramento em tempo real, como sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT), tem se mostrado eficaz na detecção precoce de alterações na qualidade da água, permitindo respostas rápidas e mitigação de impactos negativos (Singh *et al*, 2022). O índice de Qualidade da Água (IQA) é uma ferramenta consolidada para avaliação da qualidade de rios e outros corpos hídricos. Criado pela National Sanitation Foundation (NSF) em 1970 e adotado no Brasil pela CETESB em 1975, o IQA sintetiza múltiplos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em um único valor numérico, facilitando a interpretação e comunicação sobre a qualidade da água (CETESB, 2024). Este índice varia de 0 a 100, sendo que valores mais baixos indicam maior degradação da água.

3. MÉTODO

O desenvolvimento deste projeto iniciou-se com um levantamento bibliométrico voltado à identificação dos trabalhos mais relevantes relacionados ao monitoramento da qualidade da água em tempo real, com ênfase no uso de tecnologias de Internet of Things (IoT) e plataformas de prototipagem Arduino. Esse estudo permitiu mapear as principais lacunas de pesquisa, especialmente no contexto brasileiro, que não aparece entre os dez países com mais publicações neste tópico (Fig.1), onde predominam métodos tradicionais baseados em coleta de amostras e análises laboratoriais, geralmente de alto custo e baixa frequência. Também foi percebida a oportunidade para explorar desenvolvimento de equipamentos portáteis resistentes a intempéries, aumentando sua utilidade e confiabilidade em diferentes contextos ambientais. Também foi pesquisado como a



qualidade da água é avaliada pelas leis brasileiras vigentes, entrando no Índice de Qualidade da Água e os parâmetros que são utilizados para o cálculo deste índice.

Após esta fase inicial, um aprofundamento nos artigos e reviews com temática relacionada a sensores de baixo custo foi necessário para entender as limitações e possibilidades deste tipo de hardware. De forma subsequente, a pesquisa bibliométrica rumou para a utilização de IoT para monitoramento ambiental e sua utilização em placas de prototipagem como Arduino e Raspberry Pi.

Com base nas informações obtidas, foi projetado um protótipo composto por:

Hardware: uma placa de prototipagem ESP32800L, responsável pelo processamento e comunicação de dados, cinco sensores de baixo custo destinados à medição dos parâmetros físico-químicos dentro dos nove que são utilizados para o cálculo do IQA: pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica e temperatura.

Transmissão dos dados: optou-se pela tecnologia Global System for Mobile Communications (GSM), possibilitando o envio remoto das informações para um servidor online para que o equipamento possa ser utilizado em locais remotos onde não há acesso a Wi-fi

Software: Desenvolvimento dos códigos de programação para a IDE do Arduino, que permitirão a integração do software e hardware, após essa etapa, foi desenvolvido o Dashboard e aplicativo para dispositivos móveis, permitindo visualização em tempo real e armazenamento do histórico de medições.

Calibração dos sensores: A fase inicial dos testes do projeto foi conduzida em ambiente laboratorial, com o objetivo de calibrar e avaliar a precisão e estabilidade dos sensores, bem como o desempenho do sistema de comunicação.

Validação em campo: Em uma etapa subsequente, o protótipo será validado em campo, em um corpo hídrico natural. Nesta fase, serão avaliadas a eficácia do sistema em condições reais, sua resistência às intempéries e estabilidade de funcionamento.

Análise dos dados: Os dados obtidos pelo protótipo serão comparados estatisticamente com as medições realizadas pela CETESB no mesmo local, permitindo verificar o desvio padrão, acurácia e confiabilidade da solução proposta frente aos métodos oficiais de monitoramento da qualidade da água. Essa abordagem assegura a avaliação da viabilidade do sistema como uma alternativa acessível e eficiente para monitoramento contínuo e descentralizado.

A tabela 1 apresenta a lista completa dos materiais utilizados no projeto, incluindo a descrição, o modelo e a quantidade de unidades necessárias para a montagem do protótipo.

Tabela 1- Lista de materiais

Descrição	Modelo	Unidades
Placa de prototipagem	Modulo ESP32 SIM800L GSM GPRS Micro SIM USB-C + Antena	1
Tela LCD I2c	Display LCD 20x4 I2C com Fundo Azul	1
Sensor de Temperatura	Sensor de Temperatura Digital a Prova Dagua - DS18B20	1
Sensor de Oxigenio dissolvido	Kit para Oxigênio Dissolvido AcquaNativa	1
Sensor de Turdidez	Módulo Sensor de TurbidezPartículas Suspensas naÁgua	1
Módulo SD Card	Modulo Leitor de Cartao SD Card	1
Cartão SD	Cartão de Memória SanDisk Micro SD, 32Gb	1
Sensor de PH	Sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura PH-4502C	1
Sensor de condutividade Elétrica	Kit para condutividade elétrica AcquaNativa	1
Case para o arduino	Flanged IP65 waterproof enclosure - IOT-BOTS.COM	1
Case para os sensores	Case de suporte para sensores	1
SIM CARD IOT	chip M2M Vivo	1
PROTOBOARD	Protoboard 830 Pontos MB-102 Solderless Breadboard	1
Jumpers	Jumpers MxM MxF FxF (20cm)	30
Licença Software ARDUINO	Arduino Cloud for education plan	1
Sistema Fotovoltaico 32Wh/dia	Kit Gerador de Energia Solar 10Wp - 32Wh/dia	1
Caixa metálica para proteção	Caixa Combinadora Solar à Prova d'água IP65	1
Suporte para a caixa combinadora	Suporte metálico para caixa combinadora	1
Módulo RTC	Modulo RTC DS3231 Real Time Clock 3.3V / 5V	1

Tabela 1 – Fonte: Autor (2025)

A figura 1 mostra o esquema de montagem dos principais componentes:

Figura 1- Esquema de montagem

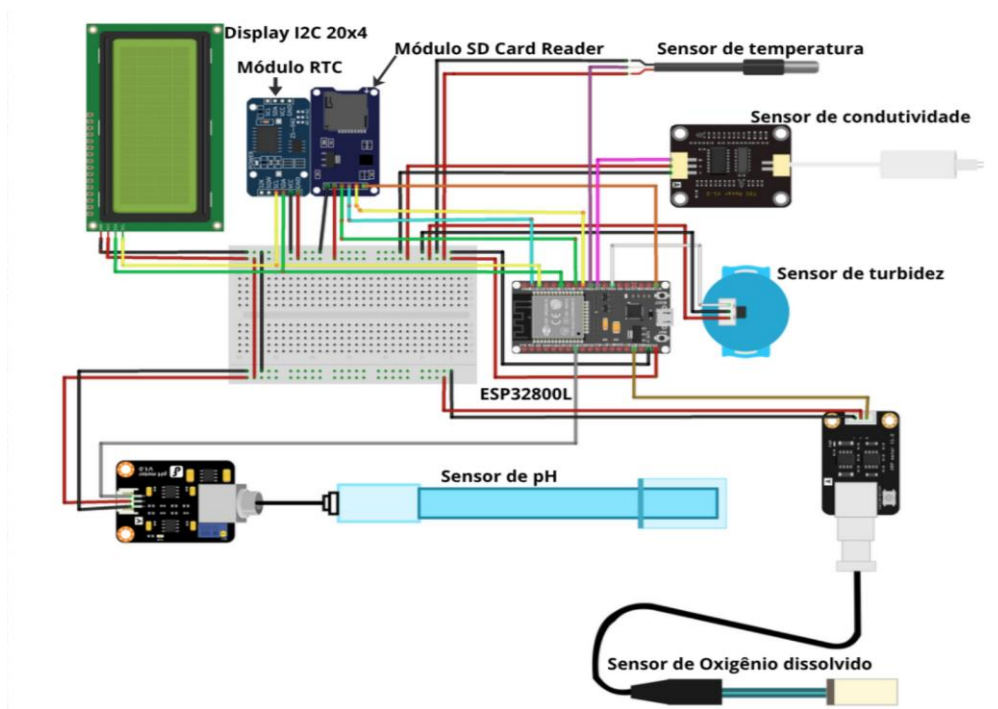


Figura 1 - Fonte - Autor (2025)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do sistema baseado em Internet of Things (IoT) para o monitoramento em tempo real da qualidade da água resultou na construção de um protótipo funcional, composto por hardware e software integrados. Essa solução contempla desde o dispositivo físico, responsável pela coleta e transmissão de dados, até os recursos digitais para visualização, análise e armazenamento das informações coletadas. O sistema inclui um dashboard online e um aplicativo para dispositivos móveis, ambos concebidos para permitir o acompanhamento remoto e contínuo dos parâmetros monitorados.

O núcleo do sistema é formado por uma placa de prototipagem ESP32800L, escolhida pela ampla disponibilidade no mercado nacional, sua compatibilidade com sensores utilizados para o Arduino, assim como a possibilidade de ser programado utilizando a IDE do próprio Arduino. Nesta versão 800L, o módulo GSM já vem integrado, facilitando a montagem e replicabilidade por operadores não especializados. Associados a ela, foram

instalados. testados e calibrados três dos cinco sensores propostos para a análise de parâmetros de qualidade da água: temperatura, turbidez, pH, ainda restando a calibração e testes para os outros dois que irão compor o equipamento.

Durante os primeiros testes em laboratório, o protótipo mediu pH com uma diferença de no máximo 5% (Tab. 2) do instrumento de referência, já no sensor de temperatura da água esta diferença ficou menor, ficando abaixo dos 2% para todos os valores medidos. Para os sensores de oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade elétrica, a fase de testes ainda não se iniciou.

Tabela 2 - Comparação entre os valores medidos pelo protótipo e pelo instrumento de referência;

Parâmetro	Instrumentos de referência	Protótipo
Temperatura 1	15,8°C	15,7°C
Temperatura 2	23,4°C	23,8°C
Temperatura 3	43,9°C	43,3°C
pH tampão (4)	4	4,2
pH tampão (7)	7,1	7,1
pH tampão (10)	10,1	9,8

Tabela 2 - Fonte: Autor (2025)

No que se refere ao software, foram desenvolvidos dois recursos complementares: o dashboard online para desktop e o aplicativo para dispositivos móveis (Fig. 2). O dashboard (Fig.3) foi concebido para apresentar, de forma gráfica e intuitiva, os valores medidos pelos sensores em tempo real, oferecendo gráficos dinâmicos que permitem a análise imediata das condições da água, juntamente com seu valor histórico.

Figura 2- Aplicativo para dispositivos móveis

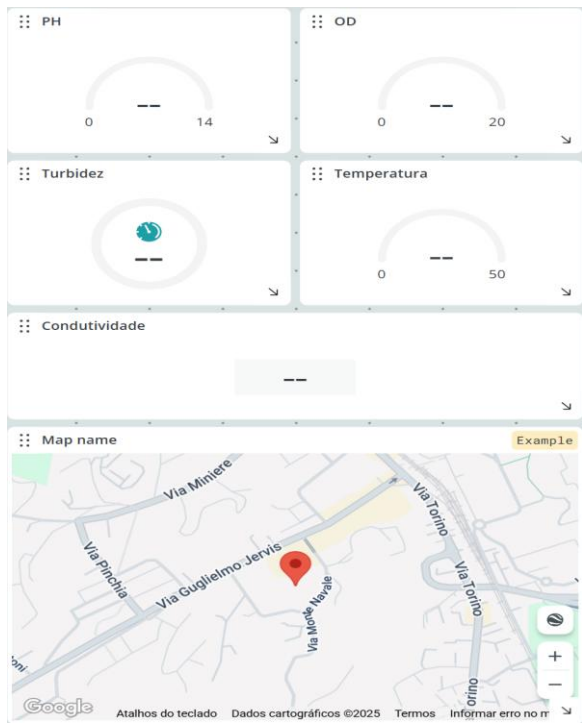


Figura 2 - Fonte: Autor (2025)

Figura 3 - Dashboard para desktop

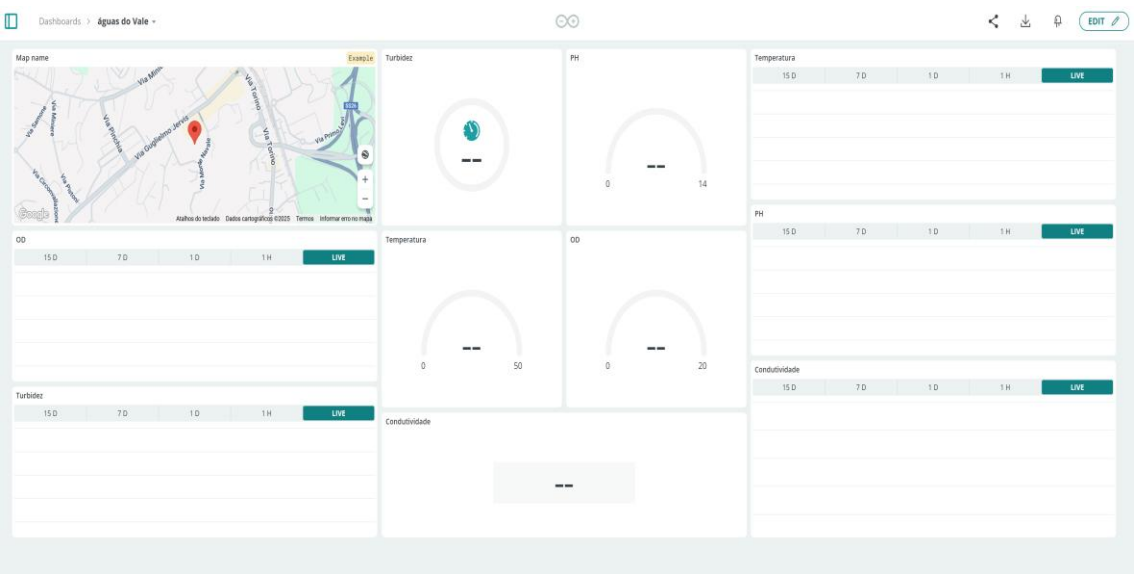


Figura 3 - Fonte: Autor (2025)

Os testes realizados em ambiente controlado, no laboratório (Fig 4), tiveram como principal objetivo verificar a integração e a confiabilidade do sistema. Nessa etapa, foram avaliados tanto o funcionamento individual de cada sensor quanto a comunicação entre a placa de prototipagem ESP32, o módulo GSM e as plataformas digitais de visualização. Os resultados obtidos demonstraram que o protótipo foi capaz de registrar e transmitir dados em tempo real de forma consistente, sem perdas significativas de informação ou falhas de comunicação frequentes. Além disso, as medições realizadas apresentaram boa precisão e estabilidade, com variações dentro das margens aceitáveis de erro para os sensores utilizados. Esses resultados preliminares validam a eficiência da arquitetura proposta e confirmam a viabilidade técnica do projeto antes da execução dos testes em condições reais.

Figura 4 - Foto dos testes para calibração em laboratório



Figura 4 - Fonte: Autor (2025)

Apesar dos avanços alcançados em laboratório, reconhece-se que os testes de campo são uma etapa essencial para o desenvolvimento completo do sistema. para avaliar a robustez do sistema frente às condições naturais, como variações de temperatura, mudanças de turbidez em decorrência de chuvas, acúmulo de resíduos nos sensores e interferências na transmissão de dados.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo do sistema de monitoramento em tempo real, mostrou que é possível construir um sistema de monitoramento muito semelhante aos existentes no mercado nos quesitos de precisão e estabilidade, que também é possível utilizar IoT para armazenar e exibir os dados em tempo real através da plataforma Arduino Cloud. Vale ressaltar que esta transmissão de dados, até o momento, foi testada apenas em ambiente controlado, no departamento de Engenharia Ambiental da UNESP. Ainda dentro das questões técnicas, restam os testes de robustez, resistência à intemperes e transmissão de dados em locais remotos.

Durante os testes conduzidos em laboratório, os sensores apresentaram serem de fácil instalação e calibração, mas ficou evidente a falta material de apoio para alguns equipamentos sendo necessário alguns contatos com o fabricante para conseguir avançar nesta tarefa, de modo especial os sensores de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, o que evidencia a contribuição deste trabalho ao unir e disponibilizar estas informações posteriormente.

A construção do dashboard e aplicativo se mostraram bem intuitivas com a utilização das plataformas de desenvolvimento do Arduino Cloud, com muito suporte técnico fornecido pela comunidade de programadores e pelo próprio site da empresa. Caso o protótipo utilizasse comunicação por Wi-fi, teria sido ainda mais rápido e fácil a comunicação entre hardware e software. Essa etapa mostrou que a questão técnica relacionada a facilidade de serem replicadas pela comunidade não especializada também até o momento foi confirmada, ainda mais após a construção de um guia prático de instalação que este trabalho também se propõe a construir. Apesar dos resultados positivos obtidos até o momento, reconhece-se a necessidade de testes adicionais em campo para avaliar a eficácia do sistema em condições reais de operação. Esses testes serão fundamentais para analisar não apenas o desempenho dos sensores diante de fatores ambientais, como variações de temperatura, turbidez e interferências externas, mas também para verificar a resistência do conjunto às intempéries, como umidade, chuva e variações climáticas.



REFERÊNCIAS

1. ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022: Informe Anual**. Brasília: ANA, 2022.
2. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2024**. São Paulo: CETESB, 2024.
3. BRASIL - **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
4. ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água 2022**. Brasília: ANA, 2021.
5. BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
6. ONU – Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015.
7. UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. United Nations **World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water**. Paris: UNESCO, 2023.
8. BANZI, M.; SHILOH, M. **Arduino: guia essencial**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015.
9. ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portallpnqa/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 13 ago. 2025.
10. KONDAVEETI, H. K.; MATHE, S. **A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations**. Computers in Industry, v. 129, p. 100364, 2021. 17.
11. IBRAHEEM, R.; AHMAD, F. **The versatile world of Arduino boards: A comprehensive review**. Journal of Materials Science & Engineering, v. 9, n. 1, p. 555753, 2024.
12. NALAKURTHI, N. V. S. R. et al. **Challenges and opportunities in calibrating low-cost environmental sensors**. Sensors, v. 24, n. 11, p. 3650, 2024.
13. KARAGULIAN, F. et al. **Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring**. Atmosphere, v. 10, n. 9, p. 506, 2019.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia
de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

14. ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The Internet of Things: A survey.** *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
15. LIN, L. **Effects of Water Pollution on Human Health and Disease.** *Frontiers in Environmental Science*, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.880246/full>
16. UNESCO. **UN World Water Development Report 2021: Valuing Water.** Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org>.
17. SINGH, Surya; RAI, Sarvesh; SINGH, Prashant; MISHRA, Vijay Kumar. **Real-time water quality monitoring of River Ganga (India) using internet of things.** *Ecological Informatics*, v. 71, p. 101770, 2022. ISSN 1574-9541. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101770>.