

# Sistema de Monitoramento das Condições Físico-Químicas da Água Aplicado a Piscicultura Tradicional

Vinícius C. S. Cunha<sup>1</sup>, Elton R. Alves<sup>1</sup>, Luiz F. S. Vasconcelos<sup>1</sup>  
Carlos B. L. Pessoa<sup>1</sup>, Warley M. V. Júnior<sup>1</sup>, Andson M. Balieiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Marabá – PA – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco  
Recife – PE – Brasil

{vinicius.cosmo, eltonalves, bruno.lima, felipe, wmv}@unifesspa.edu.br  
amb4@cin.ufpe.br

**Abstract.** *Fish farming requires continuous monitoring of water quality to ensure fish health and production sustainability. However, in rural areas of the state of Pará, there is still a lack of methods or technologies for monitoring the physicochemical conditions of the water. Thus, this work presents a low-cost system for remote monitoring of temperature, pH, and total dissolved solids (TDS), based on submersible sensors and LoRa communication. The solution employs point-to-point transmission, cloud storage, and a web interface for data visualization. Field tests confirmed the system's ability to detect variations in the monitored parameters, demonstrating its technical viability for traditional fish farming.*

**Resumo.** *A piscicultura exige monitoramento contínuo da qualidade da água para assegurar a saúde dos peixes e a sustentabilidade da produção. Entretanto, em regiões rurais do estado do Pará, ainda há ausência de métodos ou tecnologias para o acompanhamento das condições físico-químicas da água. Assim, este trabalho apresenta um sistema de baixo custo para o monitoramento remoto de temperatura, pH e sólidos totais dissolvidos (TDS), baseado em sensores submersíveis e comunicação via LoRa. A solução emprega transmissão ponto a ponto, armazenamento em nuvem e uma interface web para visualização dos dados. Testes em campo confirmaram a capacidade do sistema de detectar variações nos parâmetros monitorados, evidenciando sua viabilidade técnica para a piscicultura tradicional.*

## 1. Introdução

A aquicultura consiste na produção de organismos cujo ciclo de vida ocorre total ou parcialmente em ambiente aquático, abrangendo peixes, moluscos, algas e crustáceos. Dentre suas modalidades, destaca-se a piscicultura, voltada à produção de peixes em sistemas controlados ou semi-controlados [Incapar 2025]. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), em 2022 a produção mundial proveniente da pesca e da aquicultura alcançou 223,2 milhões de toneladas, representando crescimento de 4,4% em relação a 2020. Desse total, 89% foram destinados ao consumo

humano direto, evidenciando a relevância da atividade para a segurança alimentar global [FAO 2024].

A qualidade da água constitui um dos principais fatores para a sustentabilidade da produção aquícola. Parâmetros físico-químicos, como temperatura, pH e condutividade, influenciam diretamente o metabolismo, o crescimento e a sobrevivência dos peixes [Embrapa 2013]. Falhas no monitoramento desses parâmetros podem resultar em desequilíbrios ambientais e prejuízos econômicos significativos.

No Brasil, a piscicultura figura entre as atividades zootécnicas de maior crescimento, com produção de 968.745 toneladas em 2024 e movimentação financeira estimada em R\$ 9 bilhões anuais [Peixe BR 2025]. No estado do Pará, a atividade possui expressiva relevância econômica, com destaque para espécies nativas como o tambaqui [de Oliveira et al. 2023]. Entretanto, apesar da importância produtiva, muitas regiões rurais do estado ainda apresentam limitações de infraestrutura tecnológica e conectividade, dificultando a adoção de soluções digitais para o monitoramento de parâmetros físico-químicos da água.

Assim, apesar dos avanços tecnológicos, o monitoramento nesses locais ainda é frequentemente realizado por meio de medições manuais com kits químicos ou dispositivos portáteis, o que limita a obtenção de dados contínuos e dificulta a tomada de decisão em tempo hábil [Flores-Iwasaki et al. 2025] [Rastegari et al. 2023]. Além disso, a dependência de medições presenciais pode expor o produtor a erros de coleta e a atrasos na identificação de variações críticas [Avelino et al. 2025].

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real dos parâmetros físico-químicos da água, aplicado à piscicultura tradicional, baseado em tecnologias de Internet das Coisas (IoT). O sistema realiza a leitura de temperatura, pH e condutividade elétrica, transmitindo os dados por meio de comunicação *LoRa*, tecnologia adequada para ambientes rurais com infraestrutura de rede limitada, permitindo comunicação de longo alcance com baixo consumo energético.

O sistema foi validado em ambiente real, em uma localidade chamada Lago Verde, no município de Marabá-Pará, onde a produção de peixes ornamentais ocorre de forma manual e empírica, sem infraestrutura local de conectividade. A proposta contribui para a gestão ambiental do sistema aquícola ao possibilitar monitoramento contínuo, suporte à tomada de decisão e maior acessibilidade tecnológica em contextos regionais com restrições de conectividade. Diferentemente de trabalhos correlatos baseados predominantemente em *Wi-Fi* e validados apenas em bancada, o sistema proposto integra *hardware*, comunicação *LoRa* e infraestrutura em nuvem em uma arquitetura de baixo custo, incluindo etapa de calibração experimental dos sensores em laboratório, visando aumentar a confiabilidade das medições em aplicações reais.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve os materiais e métodos empregados. Na Seção 4 são apresentados os resultados obtidos e, por fim, na Seção 5 são discutidas as considerações finais e os trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

Diversas pesquisas têm proposto soluções baseadas em *IoT* para o monitoramento da qualidade da água aplicada à piscicultura, buscando reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência do manejo.

O trabalho de [Saraiva 2024] propõe o sistema AquaFeed, que integra monitoramento dos parâmetros temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica a um módulo de recomendação alimentar baseado em aprendizado de máquina. A arquitetura utiliza Arduino Uno para aquisição de dados e ESP32 como *gateway*, com transmissão via *Wi-Fi* para a nuvem. Os resultados indicam viabilidade técnica da proposta, com desempenho comparável a equipamentos comerciais. Contudo, a solução depende de infraestrutura de *internet* no local de coleta, sendo validada por meio de medições pontuais, não sendo detalhada uma estrutura física voltada para operação contínua em ambiente externo.

O estudo de [Costa et al. 2022] apresenta um sistema baseado em *IoT* para monitoramento de pH e temperatura, incluindo automação de dispositivos como bombas e aquecedores. Utilizando NodeMCU e comunicação via *Wi-Fi*, o sistema demonstrou funcionamento satisfatório em ambiente controlado, contribuindo para a integração entre *hardware* e *software* no contexto aquícola. Entretanto, a dependência de conectividade local e a ausência de validação prolongada em campo limitam sua aplicação em áreas rurais com infraestrutura restrita.

Em [Toigo et al. 2023] é desenvolvido um sistema de baixo custo utilizando ESP32 para monitoramento de temperatura, pH e oxigênio dissolvido, com envio de dados à plataforma *ThingSpeak* via *Wi-Fi*. A proposta destacou-se pelo custo-benefício, estimado em aproximadamente um quarto do valor de soluções comerciais. Todavia, os testes foram realizados apenas em bancada, não contemplando validação em ambiente real de piscicultura.

Já em [Avelino et al. 2025] é apresentado um sistema experimental para monitoramento de pH, temperatura e sólidos dissolvidos totais (TDS) em diferentes ambientes de piscicultura. O sistema utilizou Arduino UNO e ESP8266, com transmissão via *Wi-Fi*. A pesquisa realizou elevado número de medições ao longo de nove horas, demonstrando consistência na coleta de dados. Contudo, a solução não contempla comunicação remota independente de infraestrutura local, nem estrutura física encapsulada para operação contínua em campo.

De modo geral, os trabalhos analisados demonstram avanços significativos na aplicação de *IoT* à piscicultura, especialmente na redução de custos e na automação da coleta de dados. Entretanto, observa-se que a maioria das propostas depende de conectividade no ponto de medição e carece de validação estruturada em ambientes reais com infraestrutura limitada.

### 2.1. Análise Comparativa dos Trabalhos Relacionados

Para fins de comparação, os trabalhos foram analisados segundo os seguintes critérios:

- **C1 Parâmetros lidos:** variáveis físico-químicas monitoradas pelo sistema.
- **C2 Tecnologias utilizadas:** controladores e tecnologias de comunicação empregadas.

- **C3 Utilização de comunicação remota:** possibilidade de coleta em locais sem necessidade de *internet* no ponto de medição (Sim ou Não).
- **C4 Estrutura física para coleta contínua:** presença de encapsulamento e preparo para operação prolongada em campo (Sim ou Não).
- **C5 Interface de usuário simplificada:** interface desenvolvida com foco na compreensão pelo produtor (Sim ou Não).

A Tabela 1 sintetiza os critérios analisados. A partir da análise comparativa, observa-se que os trabalhos existentes contribuem significativamente para o avanço do monitoramento automatizado na piscicultura, especialmente quanto à diversidade de parâmetros analisados e à integração entre *hardware* e *software*.

**Tabela 1. Análise comparativa dos trabalhos correlatos**

Trabalho	C1	C2	C3	C4	C5
[Saraiva 2024]	Temp, pH, OD, TDS	Arduino; ESP32; <i>Wi-Fi</i>	Não	Não	Não
[Costa et al. 2022]	Temp, pH	NodeMCU; <i>Wi-Fi</i>	Não	Não	Não
[Toigo et al. 2023]	Temp, pH, OD	ESP32; <i>Wi-Fi</i>	Não	Não	Não
[Avelino et al. 2025]	Temp, pH, TDS	Arduino; ESP8266; <i>Wi-Fi</i>	Não	Não	Não
<b>Proposta</b>	<b>Temp, pH, TDS</b>	<b>ESP32; <i>LoRa</i>; <i>Wi-Fi</i></b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>

Entretanto, a proposta apresentada neste estudo diferencia-se por integrar comunicação remota baseada em *LoRa*, permitindo a aplicação em locais sem infraestrutura de *internet* no ponto de coleta, característica particularmente relevante para regiões com limitações tecnológicas, como áreas do estado do Pará. Além disso, o sistema foi desenvolvido com estrutura física adequada para operação contínua em campo e validado em ambiente real, incorporando armazenamento em banco de dados e interface *web* simplificada, voltada à compreensão do usuário final. Dessa forma, o diferencial do trabalho reside na combinação entre comunicação remota independente de infraestrutura local, validação experimental em ambiente real e foco na aplicabilidade prática para pequenos produtores.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Arquitetura Geral do Sistema

A arquitetura do sistema é ilustrada na Figura 1 composta por dois módulos: transmissor e receptor.

O módulo transmissor integra os sensores de pH, temperatura e TDS (do inglês *Total Dissolved Solids*) a um ESP32 *LoRa*, responsável pela aquisição periódica das medições, pelo processamento inicial dos sinais e pelo encapsulamento dos dados para transmissão. A comunicação entre os módulos ocorre via *LoRa*, por meio do envio de pacotes contendo as leituras coletadas. O módulo receptor, também baseado em ESP32 *LoRa*, atua como *gateway*, realizando a recepção dos dados e o seu encaminhamento para a camada de aplicação.

Após a recepção, os dados são estruturados em formato *JSON* e enviados, via requisição *HTTP*, para uma *API* desenvolvida em *Django*. A *API* realiza a validação dos pacotes recebidos e persiste as informações em banco de dados *PostgreSQL*. A camada de

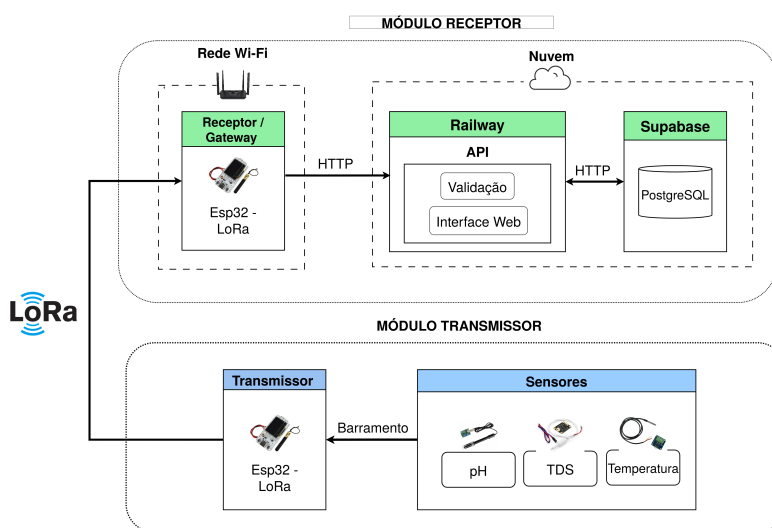


Figura 1. Arquitetura geral do sistema

visualização é composta por uma interface *web*, responsável por consultar a *API* e apresentar as leituras armazenadas, permitindo o acompanhamento remoto dos parâmetros monitorados.

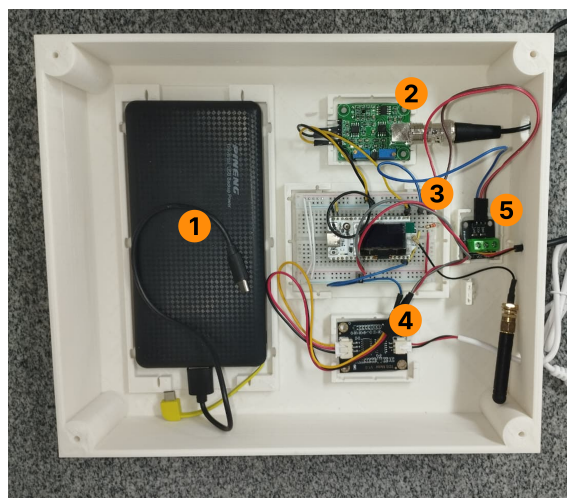
### 3.2. Dispositivos de IoT

A Figura 2 apresenta os principais componentes do sistema. O conjunto foi desenvolvido utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e ampla disponibilidade comercial, priorizando viabilidade técnica e acessibilidade econômica. Para a alimentação do sistema, foi utilizada uma bateria portátil. Para as leituras, foram utilizados três sensores destinados ao monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água: o sensor de temperatura DS18B20, com faixa de operação entre  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; o sensor de pH PH4502C com eletrodo analógico, com faixa de medição entre 0 e 14; e o sensor *TDS Meter V1.0*, utilizado para estimativa de sólidos dissolvidos totais, com faixa de medição entre 0 e 1000 ppm.

O processamento e a comunicação são realizados por dois módulos Heltec ESP32 *LoRa*, que integram o microcontrolador ESP32 com conectividade *Wi-Fi*, *Bluetooth* e *LoRa*. Um módulo é responsável pela aquisição e pela transmissão ponto a ponto (*peer-to-peer*) das leituras, enquanto o segundo atua como *gateway*, realizando o envio dos dados à aplicação em nuvem.

A escolha desses componentes fundamenta-se no baixo custo quando comparados a medidores multiparamétricos industriais, que apresentam valores significativamente superiores. Essa abordagem possibilita construir uma solução funcional e escalável para monitoramento ambiental em piscicultura tradicional, mantendo viabilidade econômica para pequenos produtores.

Para a comunicação do sistema foi utilizada a tecnologia *LoRa (Long Range)*, uma solução de comunicação sem fio de baixa potência baseada na modulação *Chirp Spread Spectrum (CSS)*, que utiliza sinais *chirp* de variação linear de frequência e codificação robusta para aumentar a sensibilidade do receptor e a imunidade a interferências [Rossato et al. 2020].



**Legenda:**

1. Power Bank	3. Esp32 LoRa
2. Módulo Sensor de pH	4. Módulo Sensor de TDS
	5. Módulo Sensor de Temperatura

**Figura 2. Componentes do sistema.**

No sistema proposto, o *LoRa* foi adotado devido à limitação de infraestrutura de rede no local de coleta, inviabilizando soluções baseadas em *Wi-Fi* e favorecendo comunicação de longo alcance com baixo consumo energético, característica relevante para aplicações em áreas rurais. Além disso, optou-se pela comunicação ponto a ponto no lugar de *LoRaWAN* devido à simplicidade de implementação e ao foco na validação preliminar da arquitetura. A comunicação foi configurada com frequência de 915 MHz, *Spreading Factor 7 (SF7)*, *Coding Rate 4/5* e potência de transmissão de 20 dBm.

Para garantir a confiabilidade das medições, foi realizado um processo de calibração dos sensores em laboratório antes da coleta de dados em campo. A calibração reduz desvios sistemáticos e aumenta a confiabilidade dos dados coletados, aspecto essencial em aplicações ambientais e produtivas. Dessa forma, tem-se:

- O sensor de pH foi calibrado utilizando soluções tampão padrão.
- O sensor de condutividade elétrica foi calibrado com solução padrão de KCl.
- A estimativa de TDS foi realizada a partir da conversão da condutividade elétrica.
- O sensor de temperatura foi validado utilizando água com gelo a 0 °C.

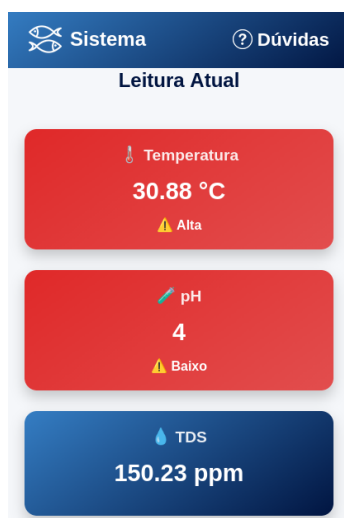
### 3.3. Interface de Usuário e Local de Coleta de Dados

O sistema inclui uma interface simplificada (Figura 3a), desenvolvida em *Django*, um *framework Python* para visualização das leituras, priorizando clareza e interpretação rápida dos parâmetros monitorados. A interface apresenta os valores medidos em tempo real, permitindo o acompanhamento contínuo da qualidade da água. A proposta privilegia a usabilidade, considerando o perfil de produtores da piscicultura tradicional.

O local de avaliação da proposta foi um lago, conforme mostrado na Figura 3b, que apresenta o sistema em funcionamento. O lago está situado no município de Marabá-PA, onde ocorre a produção de peixes da espécie tambaqui. Esse local foi escolhido por não possuir nenhum tipo de sistema de monitoramento da qualidade da água, nem qualquer tipo de conexão via *Wi-Fi*.

O lago possui aproximadamente 100 metros de comprimento por 70 metros de largura. Devido ao uso frequente de maquinários nas proximidades, a água encontrava-se turva e fora de suas condições habituais, o que proporcionou um ambiente adequado para avaliar o desempenho dos sensores em situações adversas.

A validação da comunicação foi realizada no local, com distância aproximada de 40 m entre transmissor e *gateway*, sem ocorrência de perda de pacotes durante o período de testes. Ressalta-se que, embora a tecnologia *LoRa* permita alcances significativamente superiores, neste trabalho buscou-se validar a estabilidade da arquitetura proposta, não a distância máxima de transmissão.



(a) Interface do Usuário.



(b) Sistema em Funcionamento.

**Figura 3. Interface e local de funcionamento do protótipo.**

Ademais, foram realizados dois experimentos no lago: o primeiro iniciado às 18h (Teste 1) e o segundo às 11h (Teste 2), ambos em dias distintos. Em cada experimento, foram obtidas aproximadamente 40 leituras por parâmetro, permitindo observar o comportamento das variáveis em diferentes condições ambientais. A realização em horários distintos possibilitou analisar possíveis variações térmicas e suas influências nos demais parâmetros.

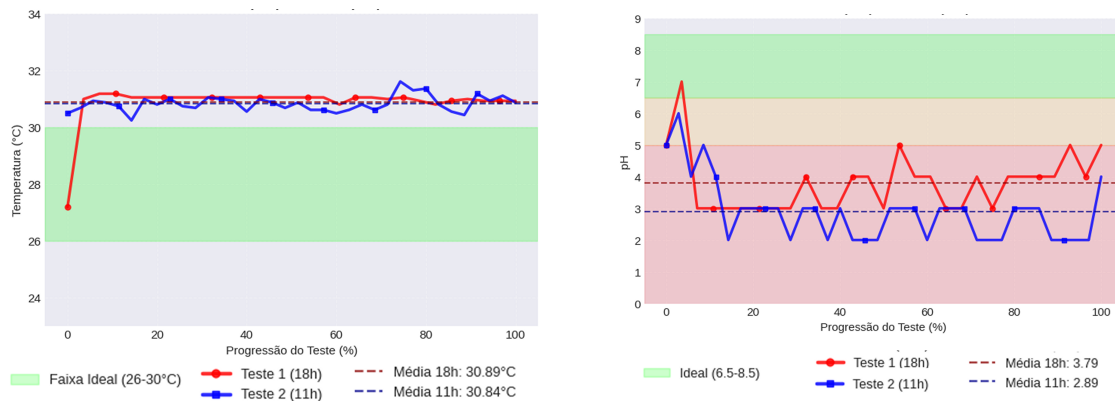
#### 4. Avaliação e discussão dos Resultados

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do sistema de monitoramento da qualidade da água no local de validação da proposta.

##### 4.1. Análise das Leituras de Temperatura, pH e TDS

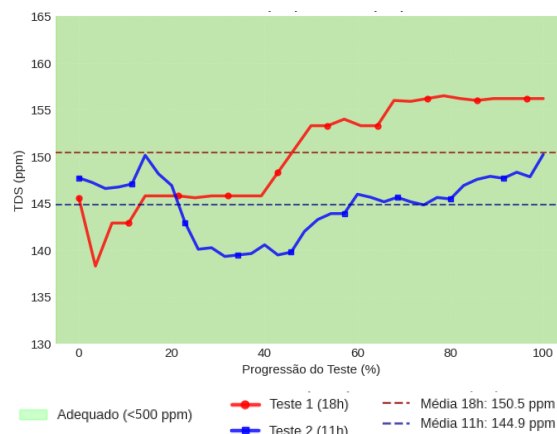
A Figura 4a apresenta a comparação da temperatura entre os dois períodos analisados. Observa-se que o teste 2 (11h) registrou pequenas variações de temperatura, apresentando média de 30,84 °C, enquanto o teste 1 (18h) apresentou leituras mais estáveis ao longo do tempo, com média de 30,89 °C. Ambos os testes mantiveram valores acima da faixa de conforto térmico para peixes tropicais, como o tambaqui (26 °C – 30 °C) [SENAR 2017].

A Figura 4b mostra a evolução do pH ao longo dos dois experimentos. O teste 1 apresentou pH médio de 3,79, enquanto o teste 2 registrou média de 2,89, indicando que a água estava mais ácida no período da manhã (diferença de  $-0,9$ ). Em ambos os casos, os valores encontram-se muito abaixo da faixa ideal para a piscicultura (6,5–8,5) [SENAR 2017], classificando-se como críticos ( $< 5$ ) e requerendo intervenção imediata.



(a) Comparativo de Temperaturas.

(b) Comparativo de pH.



(c) Comparativo de TDS.

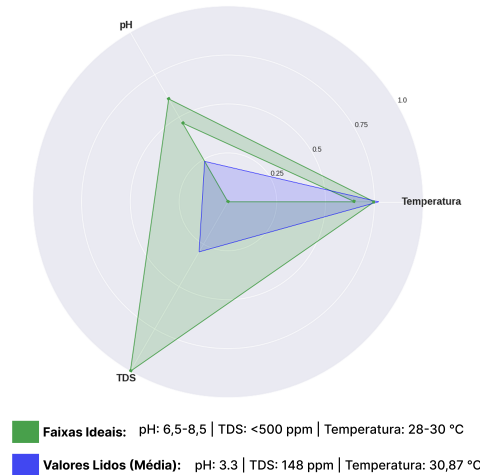
**Figura 4. Resultados do monitoramento de temperatura, pH e TDS.**

A Figura 4c compara os níveis de TDS entre os dois horários avaliados. O teste 1 apresentou média de 150,5 ppm, enquanto o teste 2 registrou 144,9 ppm, correspondendo a uma diferença de  $-5,6$  ppm no período da manhã. Embora essa variação seja pequena, pode refletir processos de diluição ou sedimentação de partículas ao longo da noite. Ambos os valores permanecem abaixo do limite de 500 ppm, considerado adequado para águas doce [CONAMA 2005], indicando que, apesar da turbidez causada pelo barro, a concentração de sólidos dissolvidos não representa risco imediato à saúde dos animais.

## 4.2. Avaliação da Qualidade da Água

A Figura 5 apresenta a comparação entre os valores ideais de qualidade da água e os valores obtidos pelo sistema durante as medições no lago. Observa-se que apenas o TDS encontra-se dentro de uma faixa aceitável. O pH médio de 3,3 indica elevada acidez, o que

representa risco direto à saúde dos peixes. Além disso, a temperatura média de 30,87 °C também está acima do valor considerado ideal, podendo causar estresse térmico e reduzir a oxigenação dissolvida da água.



**Figura 5. Comparação entre Valores Ideais e Valores Medidos.**

## 5. Conclusão e Direções Futuras

Os resultados obtidos demonstram que o sistema desenvolvido atendeu aos objetivos propostos, validando a viabilidade técnica da solução para o monitoramento remoto da qualidade da água. Foi implementado um *hardware* autônomo capaz de realizar medições contínuas de temperatura, pH e TDS, integrado a um sistema de comunicação remota via *LoRa*, a um banco de dados estruturado e a uma interface *web* para visualização das leituras. Os testes realizados evidenciaram comportamento consistente dos sensores em campo, reforçando o potencial da solução para aplicação na piscicultura, especialmente em regiões com infraestrutura digital limitada.

Como perspectivas futuras, destaca-se a incorporação de novos parâmetros de qualidade da água (como oxigênio dissolvido e turbidez), a otimização energética com o uso de fontes renováveis, o aprimoramento da interface com recursos analíticos avançados, o desenvolvimento de uma estrutura física mais robusta e a modularização do *hardware*, além da possível implementação de uma aplicação *mobile* para monitoramento e geração de alertas em tempo real.

## Referências

- Avelino, P. G., Filho, R. M. N., Vaz, F. A., de Brito dos Santos, F. L., Rodrigues, T. B., and Avelino, D. F. G. (2025). Automação do monitoramento das variáveis físico-químicas da água aplicado à aquicultura. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 18(4):01–23.
- CONAMA (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- Costa, F. V. L., da Silva Segundo, F. C. G., and de Sousa, R. R. (2022). Sistema de monitoramento da qualidade de água para piscicultura / water quality monitoring system for fish farming. *Conjecturas*, 22(11).

- de Oliveira, C. A. C., de Cássia Modesto Lima, R., de Oliveira, D. A. C., dos Santos Barros, B., and Ayres, A. M. N. F. (2023). Análise de conjuntura da piscicultura no estado do pará, brasil. *Research, Society and Development*, 12(6):e25412640967.
- Embrapa (2013). *Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos*. Embrapa, Brasília, DF, 1 edition.
- FAO (2024). Global fisheries and aquaculture production reaches a new record high. FAO Newsroom. Available at: <https://www.fao.org/newsroom>. Accessed: 09 Jun. 2025.
- Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G. A., Pachas-Caycho, M., Chapa-Gonza, S., Mori-Zabarburú, R. C., and Guerrero-Abad, J. C. (2025). Internet of things (iot) sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: a systematic review and bibliometric analysis. *AgriEngineering*, 7(3):78.
- Incaper (2025). Aquicultura. <https://incaper.es.gov.br/aquicultura>. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Acessado em 09 de junho de 2025.
- Peixe BR (2025). Produção. Associação Brasileira da Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/producao/>. Acessado em 09 de junho de 2025.
- Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., and Mahari, W. A. W. (2023). Internet of things in aquaculture: a review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, 4:100187.
- Rossato, J., Spanhol, F., and Camargo, E. (2020). Implantação e avaliação de uma rede sem-fio de longo alcance e baixa potência para cidades inteligentes. In *Anais do IV Workshop de Computação Urbana*, pages 192–205, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Saraiva, I. A. L. (2024). Aquafeed: um sistema de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e recomendação para auxílio do manejo alimentar na piscicultura. Master's thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- SENAR (2017). *Piscicultura: fundamentos da produção de peixes*, volume 195 of *Coleção SENAR*. SENAR, Brasília, DF.
- Toigo, V. H., Tessele, V., and Bartz, R. L. (2023). Sistema automatizado de monitoramento da qualidade de água na piscicultura / automated water quality monitoring system in pisciculture. *Revista Brasileira de Educação e Inovação da Univel - REBEIS*, 1(3).